Andr. Less
Buchbinderei
Bamberg

Phys
55ab
4

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

LEHRBUCH

DER

PHYSIK UND METEOROLOGIE.

THEILWEISE NACH

POUILLET'S LEHRBUCH DER PHYSIK

SELBSTÄNDIG BEARBEITET

VON

DR. JOH. MÜLLER,

WEIL. PROFESSOR ZU FREIBURG IM BREISGAU.

ACHTE

UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE

BEARBEITET

VON

LEOP. PFAUNDLER,

Dr. der Philosophie, Besitzer des goldenen Verdienstkreuzes mit der Krone, Professor der Physik an der Universität Innsbruck, correspondirendes Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien und mehrerer anderen gelehrten Gesellschaften.

IN DREI BÄNDEN.

MIT GEGEN 2000 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN, TAFELN, ZUM THEIL IN FARBENDRUCK, UND EINER PHOTOGRAPHIE.

DRITTER BAND.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1881.

LEHRBUCH

DER

PHYSIK UND METEOROLOGIE.

VON

DR. JOH. MÜLLER,

WEIL. PROFESSOR ZU FREIBURG IM BREISGAU.

ACHTE

UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE

BEARBEITET

VON

LEOP. PFAUNDLER,

Dr. der Philosophie, Besitzer des goldenen Verdienstkreuzes mit der Krone, Professor der Physik an der Universität Innsbruck, correspondirendes Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien und mehrerer anderen gelehrten Gesellschaften.

IN DREI BÄNDEN.

MIT GEGEN 2000 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN, TAFELN, ZUM THEIL IN FARBENDRUCK, UND EINER PHOTOGRAPHIE.

DRITTER BAND.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1881.

Alle Rechte vorbehalten.

BIBLIOTHECA BAMBERGENSIS

INHALTSVERZEICHNISS DES DRITTEN BANDES.

Viertes Buch.

Die elektrischen Erscheinungen.

Erstes Capitel.

Vom Magnetismus.

		Seite
1.	Anziehung des Eisens durch Magnete	3
2.	Verschiedenheit der Pole, Anziehung und Abstossung derselben	4
3.	Magnetisirung durch Influenz	6
4.	Entstehung permanenter Magnete	9
5.	Methoden zur Herstellung von Stahlmagneten	10
6.	Magnetische Armaturen	13
7.	Tragkraft der Hufeisenmagnete	16
8.	Vorstellungen über das Wesen des magnetischen Zustandes	17
9.	Vertheilung des Magnetismus in Magnetstäben	19
10.	Lage der magnetischen Pole	22
11.	Magnetische Curven	24
12.	Der Sättigungspunkt	25
13.	Einfluss der Wärme auf den Magnetismus	27
14.	Magnetische Declination	28
15.	Magnetische Inclination	32
16.	Richtende Kraft des Erdmagnetismus	34
17.	Astatische Nadeln	35
18.	Das Magnetometer	36
19.	Der magnetische Theodolit	41
20.	Variationen und Störungen der Declination und Inclination	45
21.	Intensität des Erdmagnetismus	47
22.	Einfluss des Erdmagnetismus auf das Eisen	49
23.	Bestimmung der Inclination	49
24.	Messung der magnetischen Kräfte	53
25.	Gesetz der magnetischen Anziehungen und Abstossungen	56
26.	Totalwirkung eines feststehenden Magnetstabes auf eine drehbare Magnetnadel	59
27.	Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maass	67

Seite
28. Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus mit dem magnetischen Theodolit 73
29. Variationen der Intensität des Erdmagnetismus 76
30. Magnetische Karten, Isogonen, Isoklinen und Isodynamen 79

Zweites Capitel.

Die Erscheinungen der elektrischen Spannung.

31. Fundamentalversuche, Elektrisirung durch Reibung 83
32. Leiter und Nichtleiter der Elektricität 84
33. Von den beiden Arten der Elektricität 86
34. Vorstellungen über das Wesen der Elektricität 87
35. Mittheilung der Elektricität 90
36. Elektrische Influenz 91
37. Elektroskope 94
38. Der Elektrophor 98
39. Die Elektrisirmaschine 101
40. Versuche mit der Elektrisirmaschine 107
41. Die Influenzelektrisirmaschine 110
42. Dampfelektrisirmaschine 118
43. Intensität der elektrischen Anziehungen und Abstossungen 123
44. Allmäliger Verlust der Elektricität 127
45. Elektrometer nach dem Principe der Drehwage 129
46. W. Thomson's Quadrantenelektrometer 133
47. Sitz der elektrischen Ladung 136
48. Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche isolirter Leiter 139
49. Elektrische Wirkung der Spitzen und Flammen 141
50. Gebundene Elektricität, Ansammlungsapparate 144
51. Die Franklin'sche Tafel 145
52. Die Leydener Flasche 148
53. Der Condensator 151
54. Bindungszahl, Verstärkungszahl und Ladungsgränze eines Ansammlungsapparates 154
55. Die Lane'sche Maassflasche 157
56. Schlagweite der Leydener Flasche 158
57. Physiologische Wirkungen des Entladungsschlages 161
58. Mechanische Wirkungen der elektrischen Entladung 162
59. Thermische Wirkungen der elektrischen Entladung 167
60. Anwendung des Entladungsschlages in der Sprengtechnik 173
61. Einfluss der Beschaffenheit des Isolators auf die Condensatorladung. Dielelektricitätsconstante 178
62. Der Flaschenrückstand 183
63. Der elektrische Funke 184
64. Das elektrische Licht im verdünnten Raume 188
65. Dauer des elektrischen Funkens. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität 190
66. Die Lichtenberg'schen Figuren 197
67. Magnetische Wirkungen des Entladungsschlages 198
68. Chemische Wirkungen der Entladung 199
69. Die elektrische Spannung als Form der Energie 201
70. Begriff des elektrischen Potentials 204

Seite
71. Potentialniveauflächen 208
72. Atmosphärische Elektricität 210
73. Elektricität während der Gewitter 211
74. Wirkungen des Blitzes auf der Erde 212
75. Der Blitzableiter 213
76. Das Polarlicht 221

Drittes Capitel.

Der galvanische Strom und seine Wirkung auf die durchströmten Körper.

77. Entdeckung des Galvanismus 225
78. Der Volta'sche Fundamentalversuch 228
79. Die elektromotorische Kraft 235
80. Die Spannungsreihe 238
81. Elektromotorische Kraft bei Berührung von festen mit flüssigen Leitern 242
82. Die Volta'sche Säule 244
83. Die trockene Säule 248
84. Das Säulenelektrometer 251
85. Entstehung des elektrischen Stromes 252
86. Ursprung und Sitz der elektromotorischen Kraft 254
87. Verschiedene Formen der Volta'schen Kette 259
88. Die constanten Ketten im Allgemeinen 262
89. Die Daniell'sche Kette 263
90. Die Grove'sche und die Bunsen'sche Kette 266
91. Die Ketten von Smee, Leclanché und Pincus 274
92. Verschiedene Verbindungsweisen Volta'scher Elemente, Pachytrope, Stromwender 276
93. Begriff der Stromstärke, Messung derselben durch die chemischen Wirkungen, Voltameter 281
94. Messung der Stromstärke durch die elektromagnetischen Wirkungen. Tangentenbussole 287
95. Vergleichung der Tangentenbussole mit dem Voltameter 291
96. Gleichheit der Stromintensität an allen Stellen des Stromkreises . . 293
97. Ohm'sches Gesetz 295
98. Leitungswiderstand linearer Stromleiter 298
99. Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes, Folgerungen aus demselben . . 300
100. Zweckmässigste Combination einer gegebenen Anzahl von galvanischen Elementen 304
101. Der specifische Leitungswiderstand 309
102. Leitungswiderstand der Legirungen 311
103. Einfluss der Temperatur auf den Leitungswiderstand der Metalle . . 314
104. Einheit des Leitungswiderstandes 315
105. Rheostate und Widerstandsetalons 318
106. Theoretische Ableitung und graphische Darstellung des Ohm'schen Gesetzes 324
107. Stromverzweigung, Kirchhoff's Sätze 332
108. Wheatstone's Brücke 338
109. Leitungswiderstand der Flüssigkeiten 340
110. Die Constanten galvanischer Rheomotoren 347

Seite
111. Messung der elektromotorischen Kraft mittelst der Compensationsmethoden 351
112. Galvanische Polarisation 355
113. Ursache der galvanischen Polarisation 362
114. Grove's Gasbatterie 364
115. Passivität des Eisens 365
116. Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom; Gesetz von Joule 369
117. Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom 375
118. Der galvanische Funke 379
119. Der galvanische Lichtbogen 380
120. Photometrische Vergleichung des elektrischen Kohlenlichtes 383
121. Regulatoren für das elektrische Kohlenlicht 384
122. Die chemischen Wirkungen des Stromes 390
123. Zersetzung der Alkalien durch den galvanischen Strom 396
124. Galvanische Zersetzung geschmolzener Chlormetalle 398
125. Galvanische Zersetzung gelöster Salze 400
126. Experimente über die Elektrolyse der Salzlösungen 405
127. Faraday's elektrolytisches Gesetz; Silbervoltameter 409
128. Scheinbare Ausnahme von Faraday's Gesetz; elektrolytische Convection 412
129. Wanderung der Ionen zwischen den Polplatten 414
130. Mechanische Ueberführung der Flüssigkeiten vom positiven zum negativen Pole 417
131. Praktische Anwendungen der Elektrolyse 419
132. Theorie der Elektrolyse 423
133. Die chemischen Vorgänge innerhalb der Volta'schen Kette 427
134. Zusammenhang zwischen der Stromwärme und der chemischen Energie der Volta'schen Kette 432
135. Die chemische Energie einer Kette als Maass ihrer elektromotorischen Kraft 437
136. Fr. Exner's Theorie des Volta'schen Elementes 440
137. Chemische Theorie des Volta'schen Fundamentalversuches 443

Viertes Capitel.

Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

138. Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom 448
139. Galvanoskope, Multiplicatoren 451
140. Galvanometer, Tangenten- und Sinusbussole 457
141. Spiegelgalvanometer im Allgemeinen 461
142. Specielle Formen des Spiegelgalvanometers 463
143. Universalgalvanometer von W. Siemens 471
144. Magnetisirung des weichen Eisens durch den Strom 474
145. Magnetisirung von Stahlstäben durch den Strom 479
146. Gesetze des Elektromagnetismus 480
147. Elektromagnetisches Verhalten des Stahles. Remanenter Magnetismus 486
148. Anziehung und Tragkraft der Elektromagnete 489
149. Vertheilung des Magnetismus im Querschnitte der Eisenstäbe 493
150. Wirkung einer Spirale auf Magnete und weiches Eisen 494
151. Beziehungen zwischen Torsion und Magnetismus 498
152. Töne beim Magnetisiren des Eisens 499

Seite

153. Elektromagnetische Motoren, Eintheilung derselben; Systeme, welche auf der gegenseitigen Einwirkung von Magnetpolen beruhen 503
154. Elektromagnetische Motoren; Systeme, welche auf der Wirkung von Stromspiralen auf Magnetpole beruhen 511
155. Theorie der elektromagnetischen Motoren. Berechnung ihres Wirkungsgrades . 521
156. Die elektrische Telegraphie 528
157. Morse's Schreibtelegraph; Hughes' Drucktelegraph; Caselli's Pantelegraph . 530
158. Die elektrischen Registrirapparate 538
159. Das elektrische Chronoskop 542
160. Elektrische Uhren . 546
161. Richtung der Ströme durch Magnete 552
162. Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander 557
163. Gekreuzte Ströme . 561
164. Elektrodynamisches Gesetz 564
165. Weber's elektrodynamische Versuche; Elektrodynamometer 566
166. Ampère's Theorie des Magnetismus 570
167. Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magnet 573
168. Rotation eines beweglichen Magnets um einen festen Strom . . . 579
169. Rotation eines Stromes unter dem Einfluss eines anderen 581
170. Magnetisches Moment eines Kreisstromes 582
171. Strommessung nach absolutem elektromagnetischem Maasse; Weber's Stromeinheit . 584

Fünftes Capitel.

Thermo-Elektricität.

172. Thermo-elektrische Elemente 587
173. Die thermo-elektrische Spannungsreihe 590
174. Einfluss der Temperatur . 595
175. Ströme in einem Metallstück 598
176. Kalte und warme Drähte . 600
177. Thermo-elektrische Säulen 601
178. Peltier's Versuch; Kälteerzeugung durch den elektrischen Strom . 607
179. Thermoströme zwischen Flüssigkeiten 614
180. Thermo-elektrisches Verhalten der Flamme 615
181. Theorie der Thermo-Elektricität 616

Sechstes Capitel.

Inductionserscheinungen.

182. Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen in sich geschlossenen leitenden Kreis . 621
183. Unterbrechungs-Vorrichtungen 624
184. Inductionsapparate für physiologische Zwecke 627
185. Inductionsströme durch Reibungselektricität 629

Seite

186. Der Extrastrom . 631
187. Induction elektrischer Ströme durch Magnete 635
188. Umstände, welche die Wirksamkeit einer Inductionsspirale schwächen oder erhöhen . 638
189. Stromstärke und elektromotorische Kraft der Inductionsströme . . . 639
190. Der Funkeninductor . 645
191. Versuche mit dem Funkeninductor 652
192. Der Inductionsfunken im gasverdünnten Raume 657
193. Hittorf's und Crookes' Versuche mit elektrischen Entladungen in sehr stark verdünntem Raume 661
194. Einwirkung des Magnets auf die elektrische Entladung in verdünnten Gasen . 666
195. Alternirende Entladungen in Geissler'schen Röhren 670
196. Magneto-elektrische Inductionsapparate, Umkehrung der elektromagnetischen Motoren . 671
197. Der Siemens'sche Cylinderinductor, die magnetoelektrischen Maschinen von Wilde und von Stöhrer 680
198. Die magneto-elektrische Maschine von Pacinotti-Gramme, und ihre Umbildung zur dynamo-elektrischen Maschine; das Siemens'sche Princip . 684
199. Die magneto-elektrischen und dynamo-elektrischen Maschinen von Gramme, Schuckert und Edelmann 692
200. Die Siemens-Halske'schen magneto-elektrischen und dynamo-elektrischen Trommelmaschinen nach dem System von Fr. v. Hefner-Alteneck . 697
201. Die Wirksamkeit der magneto- und dynamo-elektrischen Maschinen; elektrische Kraftübertragung 704
202. Das Telephon und das Mikrophon 708
203. Reaction der durch Bewegung inducirten Ströme; Dämpfung; Foucault'sche Ströme; Rotationsmagnetismus 716
204. Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus 723
205. Widerstandsbestimmungen nach absolutem Maasse 727
206. Inductionsströme höherer Ordnung 732
207. Weber's Theorie der Elektrodynamik 735
208. Weber's Theorie der Induction 737
209. Uebersicht des absoluten magnetischen und elektrischen Maasssystems 739
210. Die Grunderscheinungen des Diamagnetismus 745
211. Theorie des Diamagnetismus . 750
212. Diamagnetismus der Flamme und der Gase 754
213. Intensitätsbestimmung magnetischer und diamagnetischer Kräfte . . 757
214. Einfluss der Krystallisation auf die diamagnetischen Erscheinungen . 763
215. Drehung der Polarisationsebene durch magnetisirende Kräfte 765
216. Gesetze der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene . . 771
217. Thierische Elektricität . 776
218. Allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom 777
219. Der Muskelstrom . 779
220. Elektrische Fische . 784

Viertes Buch.

DIE

ELEKTRISCHEN ERSCHEINUNGEN.

Erstes Capitel.

Vom Magnetismus.

Anziehung des Eisens durch Magnete. Unter den verschiedenen Eisenerzen giebt es eines, welches, aus gleichen Aequivalenten Eisenoxyd und Eisenoxydul zusammengesetzt, mit dem Namen Magneteisen oder Magneteisenstein bezeichnet wird. Hier und da findet man Stücke dieses Magneteisensteines, welche die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, was man ganz einfach daran erkennt, dass Eisenfeile oder selbst kleinere Eisenstücke, wie z. B. Drahtstifte, an ihnen hängen bleiben. 1

Schon den Alten war diese Erscheinung bekannt, und sie nannten solche, Eisen anziehende Steine Magnete, weil sie diese auffallende Eigenschaft zuerst an Eisenerzen wahrgenommen hatten, welche in der Nähe der Stadt Magnesia gefunden wurden.

Solche Stücke Eisenerz, welche von Natur die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, nennt man natürliche Magnete; allein nicht jedes Stück Eisenerz der oben angegebenen Zusammensetzung ist von Natur magnetisch; ja das Magneteisen ist nur ausnahmsweise von Natur magnetisch, wohl aber kann man es fast durchgängig durch verschiedene Methoden, welche später näher beschrieben werden sollen, magnetisch machen.

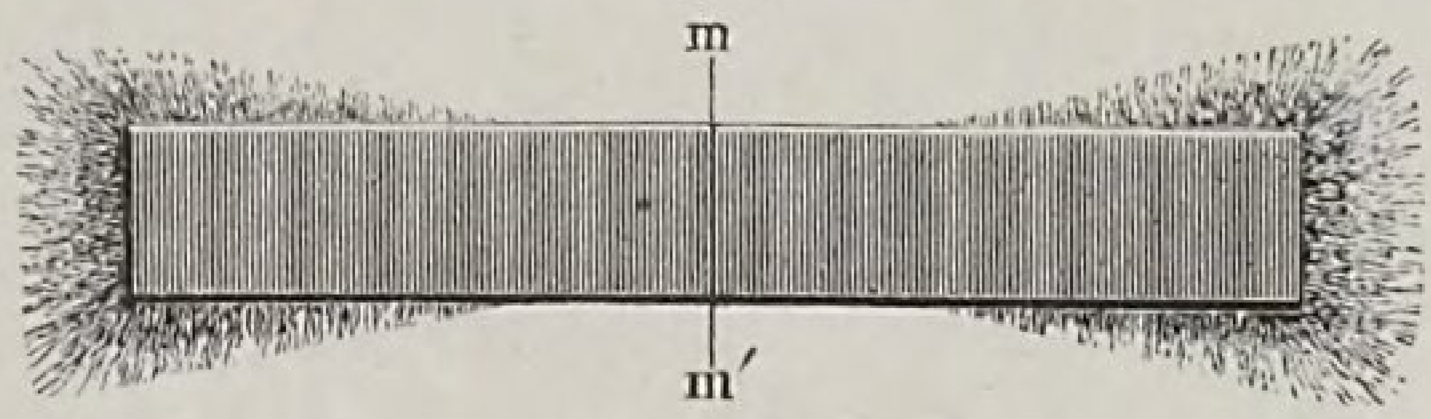
Ebenso wie den Magneteisenstein kann man auch den Stahl bleibend magnetisch machen, was den grossen Vortheil gewährt, dass man solche künstliche Magnete von beliebiger Gestalt herstellen kann, wie es eben für die verschiedenen Versuche am vortheilhaftesten ist.

Auf den ersten Anblick scheint es, als ob ein Magnet das Eisen in ähnlicher Weise anzöge, wie die Erde jeden schweren Körper anzieht. Dies ist aber nicht der Fall; die Schwerkraft wirkt auf allen Punkten der Erdoberfläche nahezu gleich stark, an jedem Magnet dagegen finden

sich zwei Stellen, für welche die Anziehung ein Maximum ist, während zwischen denselben eine andere Stelle gefunden wird, welche gar keine anziehende Wirkung auf Eisen zeigt.

Um dies zu zeigen, wälze man einen Magnet in Eisenfeilspänen herum; beim Herausnehmen wird man dann sehen, wie diese an einzelnen Stellen hängen bleiben und an anderen abfallen; bei natürlichen Magneten zeigt sich diese Erscheinung wegen der meist unregelmässigen Gestalt derselben weniger deutlich als bei künstlichen, denen man zu diesem Zweck am besten die Gestalt eines Stabes giebt. An einem regelmässig magnetisirten Stahlstab bleibt die Eisenfeile vorzugsweise an den beiden Enden hängen, wie dies Fig. 1 darstellt, während sie in der Mitte ganz abfällt. Die beiden Enden des Magnets, von welchen das Eisen am kräftigsten angezogen wird, heissen wir vorläufig die **magnetischen Pole**, indem wir uns eine schärfere Definition der letzteren auf später vorbehalten. Diejenige rings um den Magnetstab herumlaufende Linie, in welcher man keine magnetische Wirkung beobachtet, wird die **Mittellinie** oder indifferente Zone genannt.

Fig. 1.



Sehr schön zeigt sich die stärkere magnetische Wirkung der Pole auch, wenn man einen Magnetstab mit einem Papierblatt bedeckt und Eisenfeile darauf siebt.

2 **Verschiedenheit der Pole, Anziehung und Abstossung derselben.** Die beiden Pole eines natürlichen oder künstlichen Magnets sind keineswegs von gleicher Beschaffenheit. Zunächst zeigen sie sich nicht indifferent gegenüber den Weltgegenden. Um sich davon zu überzeugen, hänge man nur einen Magnetstab so auf, dass seine Längenaxe eine horizontale Linie bildet und **er sich in horizontaler Ebene frei drehen kann**, wie dies z. B. bei dem Magnet Fig. 2 der Fall ist, welcher, in einer Hülse von Papier oder Metall liegend, an einem ungedrehten Faden aufgehängt ist. Noch bequemer zu diesen Versuchen sind **Magnetnadeln**, welche gewöhnlich die Gestalt einer lang gestreckten Raute haben und in der Mitte mit einem Hütchen von Stahl oder Achat versehen sind, welches auf eine Stahlspitze aufgesetzt wird, wie man Fig. 3 sieht.

Eine dritte, in manchen Fällen sehr zweckmässige Art, eine Magnetnadel in horizontaler Ebene leicht drehbar aufzuhängen, ist in den Figuren 4 und 5 dargestellt. Die Mitte der Nadel ist durchbrochen und hier eine etwas lange Messinghülse angesetzt, welche oben durch eine nach unten mit einer Stahlspitze endigenden Schraube verschlossen ist. Diese Spitze, welche den Aufhängepunkt der ganzen Vorrichtung bildet, spielt,

wie man Fig. 5 deutlicher sieht, auf einem Achatplättchen, welches auf dem Gipfel des Messingsäulchens m eingelassen ist.

Fig. 2.

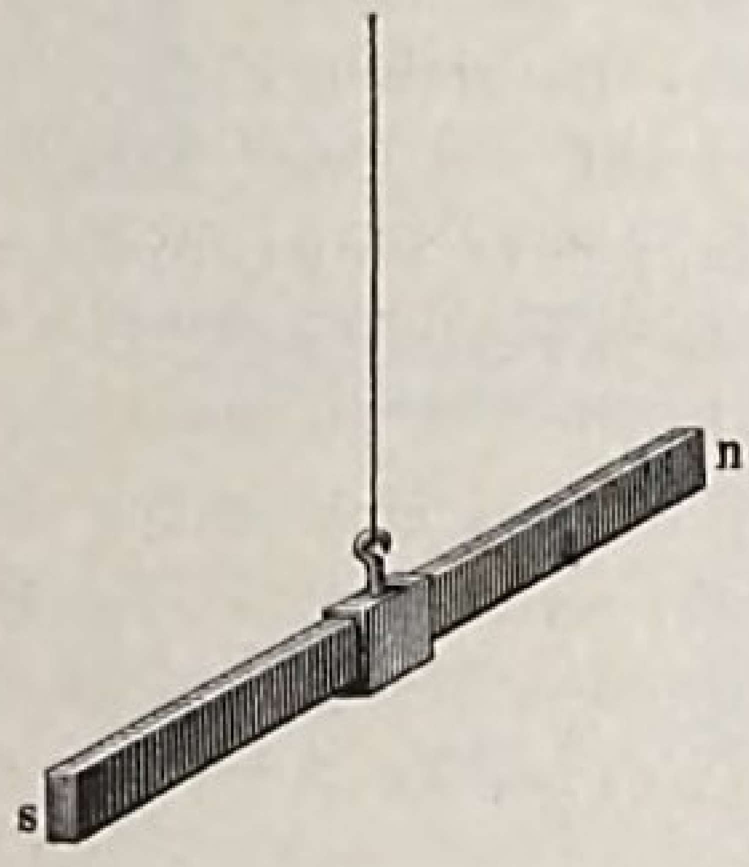


Fig. 3.

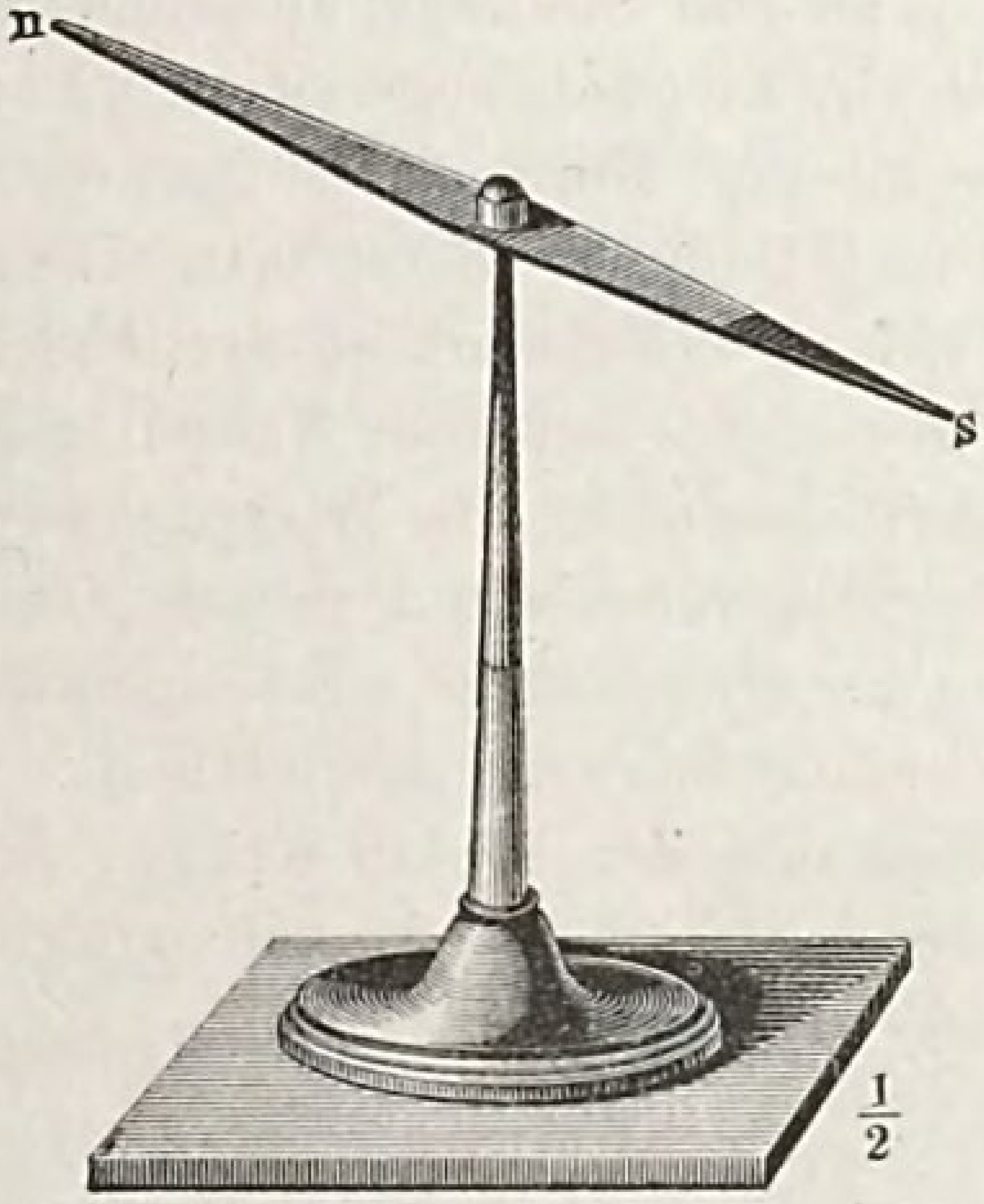


Fig. 4.

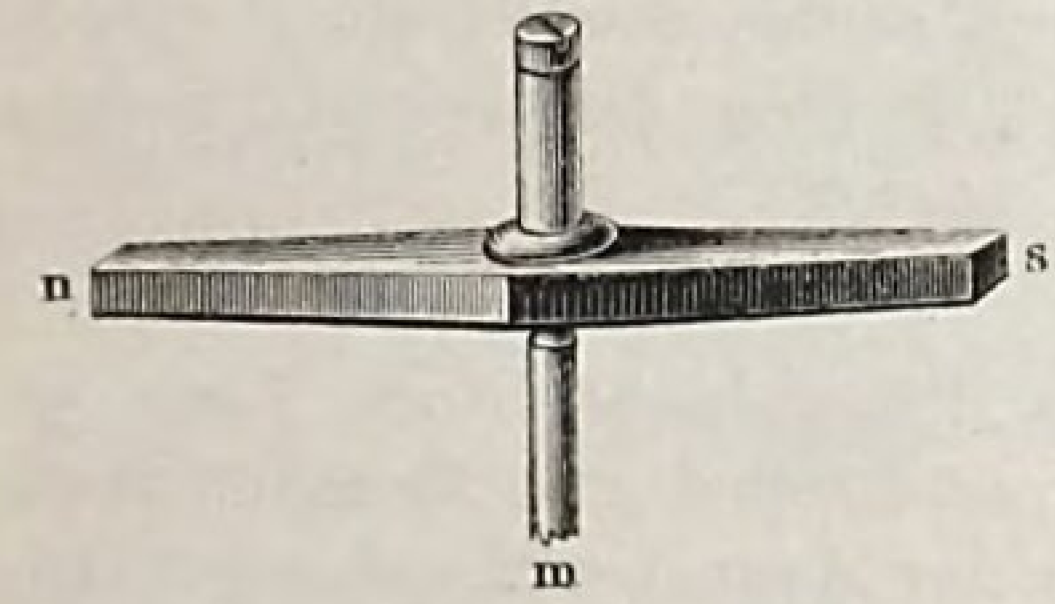
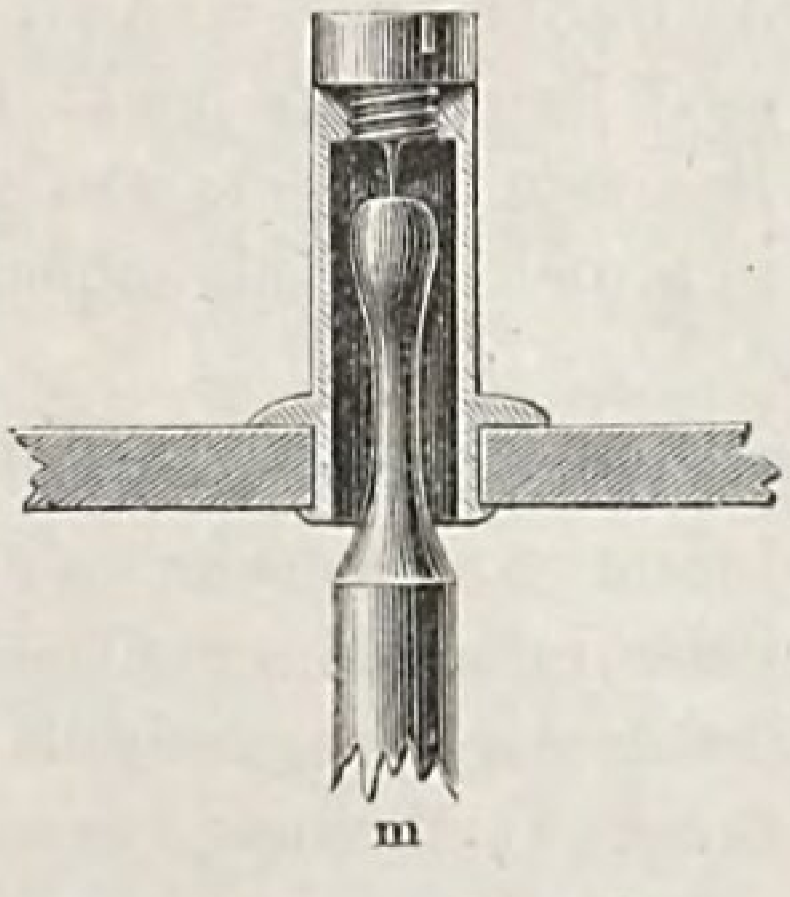


Fig. 5.



Ein so aufgehängter Magnet zeigt nun die Eigenthümlichkeit, dass er, falls er nicht durch in der Nähe befindliches Eisen oder andere Magnete beeinflusst wird, stets ein und denselben von seinen beiden Polen gegen Norden, den anderen Pol gegen Süden richtet. Wir werden später diese Erscheinung ausführlicher untersuchen; vorläufig constatiren wir nur das verschiedene Verhalten der beiden Pole. Es ist gebräuchlich geworden, den nach Norden zeigenden Pol den Nordpol, den anderen den Südpol des Magnets zu nennen.

Hat man auf diese Weise an zwei aufgehängten Magnetstäben die Pole aufgesucht und bezeichnet, so lässt sich eine weitere wichtige Verschiedenheit im Verhalten derselben auf folgende Weise zeigen. Nähert man nämlich einen der Magnete mit dem Nordpol dem Nordpol des frei beweglichen Magnetes, so wird er abgestossen, nähert man ihn dem Südpole desselben, so wird derselbe angezogen. Nähert man

dann den Südpol des einen Magnets dem Nordpol des frei beweglichen, so wird derselbe *angezogen*, nähert man ihn dem Südpol des letzteren, so erfolgt *Abstossung*. Diese vier Fundamentalversuche lassen sich in die Regel zusammenfassen: *Gleichartige Pole stossen sich ab, ungleichartige ziehen sich an.* Es stossen sich also ab: Nordpol und Nordpol, Südpol und Südpol. Es ziehen sich an: Nordpol und Südpol. Setzt man einen Magnet auf ein Brettchen, welches auf Wasser schwimmt, so dreht sich der Magnet so lange, bis der Nordpol gegen Norden, der Südpol gegen Süden gerichtet ist. Der Magnet erfährt also nicht die Wirkung *einer* Kraft, die ihn zu fortschreitender Bewegung veranlassen müsste, sondern er bewegt sich unter der Wirkung *zweier* Kräfte oder eines Kräftepaars, welches ihm eine Drehung um seinen Schwerpunkt ertheilt. Die *Pole* des Magnets sind die Angriffspunkte der beiden Kräfte, die *magnetische Axe* ist die Verbindungslinie dieser Angriffspunkte.

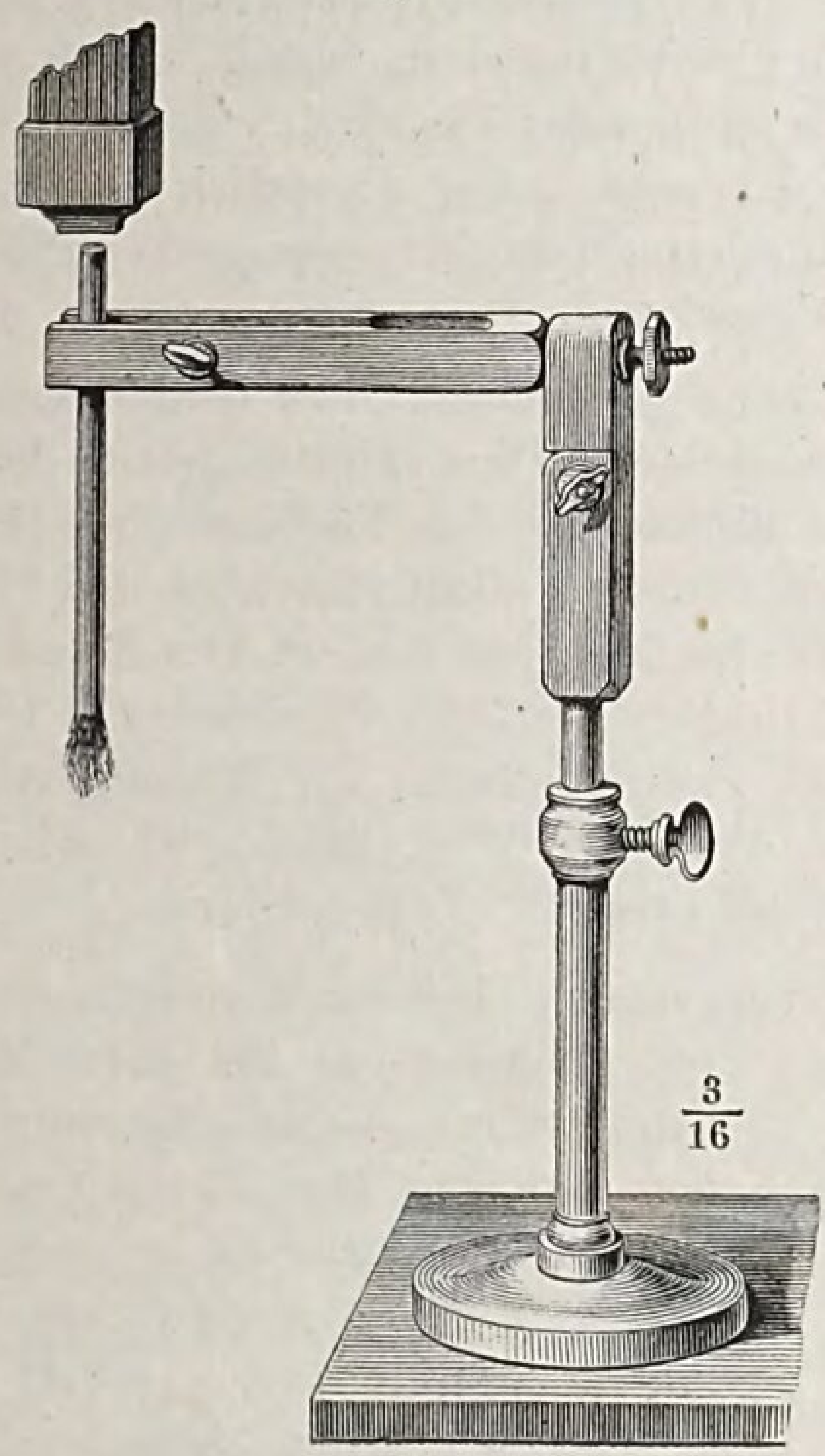
Zerbricht man einen Magnet an der indifferenten Zone in zwei Stücke, so erhält man nicht zwei einpolige Magnete, sondern jedes Stück ist dann ein vollständiger Magnet mit Nord- und Südpol. Der Versuch lässt sich leicht mittelst einer magnetisirten Stricknadel anstellen. Bricht man jede Hälfte noch einmal, so erhält man wiederum lauter Magnete mit je zwei Polen. Es giebt überhaupt keinen Magnet mit nur Einem Pole. Dagegen giebt es, wie wir sehen werden, Magnete mit mehr als zwei Polen und mehr als einer Indifferenzzone.

3 **Magnetisirung durch Influenz.** Jedes Stück Eisen wird durch blosse Annäherung eines Magnets selbst ein Magnet, verliert aber wieder seinen Magnetismus, wenn der Magnet entfernt wird. Diese Erscheinung wird magnetische Influenz oder Induction, auch Magnetisirung durch Vertheilung genannt. Der Versuch kann auf folgende Weise angestellt werden. Ein Eisenstäbchen von ungefähr 15 cm Länge und 6 bis 8 mm Durchmesser werde in ein entsprechendes Stativ (Fig. 6) so eingespannt, dass es in verticaler Richtung festgehalten wird. Hält man nun über das obere Ende den einen Pol eines kräftigen Magnetstabes, während man das untere Ende in ein Schälchen mit Eisenfeile oder kleinen Drahtstiften eintaucht, so bleibt nach der Entfernung des Schälchens ein ganzes Büschel hängen, woraus hervorgeht, dass der Eisenstab unter dem Einfluss des Magnets selbst magnetisch geworden ist; entfernt man aber ganz allmälig den über das Stäbchen gehaltenen Magnetstab, so fallen die Drahtstiftchen ganz allmälig ab und es bleibt kaum eines hängen, wenn der Magnet vollständig entfernt ist.

Um diesen Versuch mit Erfolg anzustellen, muss man sich hüten, den Magnetpol in unmittelbare Berührung mit dem oberen Ende des Eisenstabes zu bringen, weil man ihn sonst nicht ohne störende Erschütterung entfernen kann; am leichtesten verhindert man diese Berüh-

rung, wenn man zwischen das obere Ende des Eisenstäbchens und den darüber gehaltenen Magnetstab ein Kartenblatt hält.

Fig. 6.

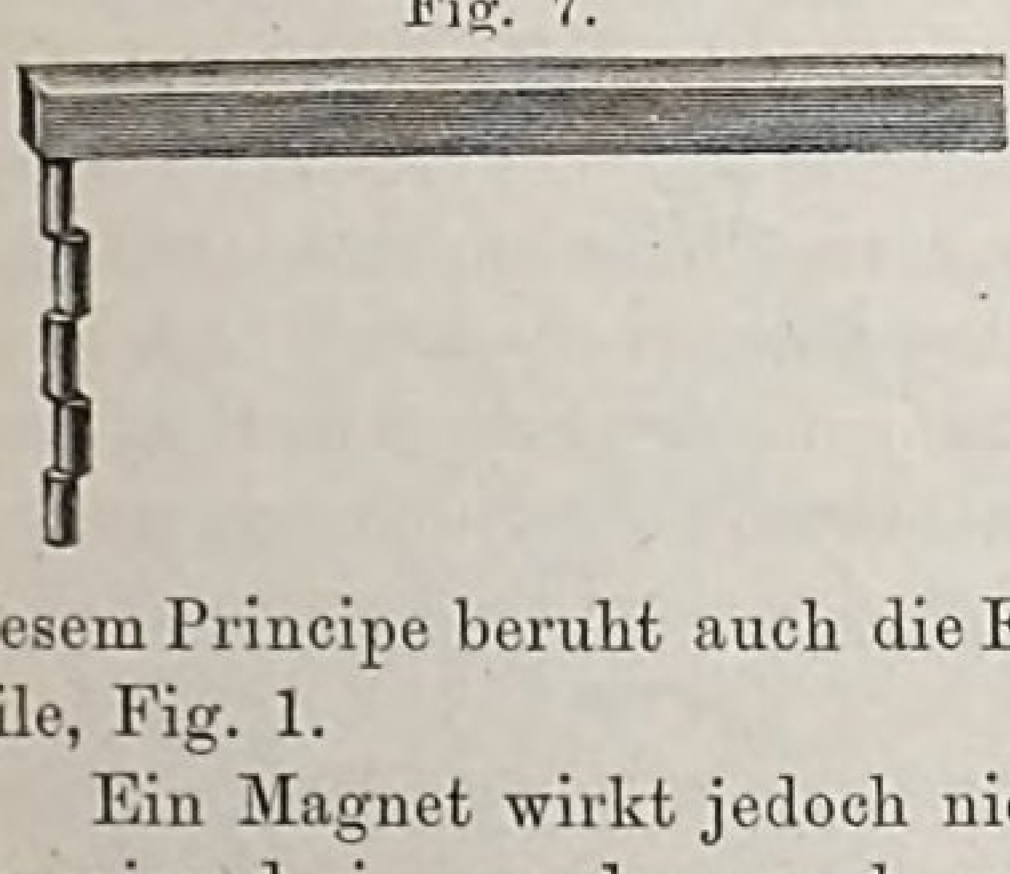


Der eben beschriebene Vorgang beweist nun klar, dass das weiche Eisen unter dem Einflusse eines Magnets selbst magnetisch wird, dass es aber diesen Magnetismus sogleich wieder verliert, wenn der Magnetpol, von welchem die vertheilende Wirkung ausging, wieder entfernt wird.

Untersucht man die Pole des durch Influenz entstandenen Magnetes, etwa durch Annäherung einer kleinen schwingenden Magnetnadel, wie Fig. 3 (Probirnadel), an das untere Ende des Stäbchens in Fig. 6, so findet man, dass stets an der dem Nordpol genäherten Stelle des Eisens ein Südpol, überhaupt also ein entgegengesetzter Pol entsteht, während das abgewendete Ende einen gleichnamigen Pol erhält. Da sich nun aber entgegengetzte Pole anziehen, so muss der durch Influenz enstandene Magnet vom influenzirenden Magnet angezogen werden.

Da der durch Influenz entstandene Magnet selbst wieder als influenzirender Magnet gegenüber einem weiteren Eisenstücke auftreten kann, so erklärt sich die Erscheinung, dass an einen starken Magnet eine ganze Reihe von weichen Eisenstücken und zwar eines an das andere angehängt werden können, wie Fig. 7 zeigt. Ist hierbei beispielsweise der influenzirende Pol ein Nordpol, so kehren alle einzelnen Stäbe nach oben den Südpol, nach unten den Nordpol. Auf diesem Principe beruht auch die Entstehung des Bartes aus feiner Eisenfeile, Fig. 1.

Fig. 7.



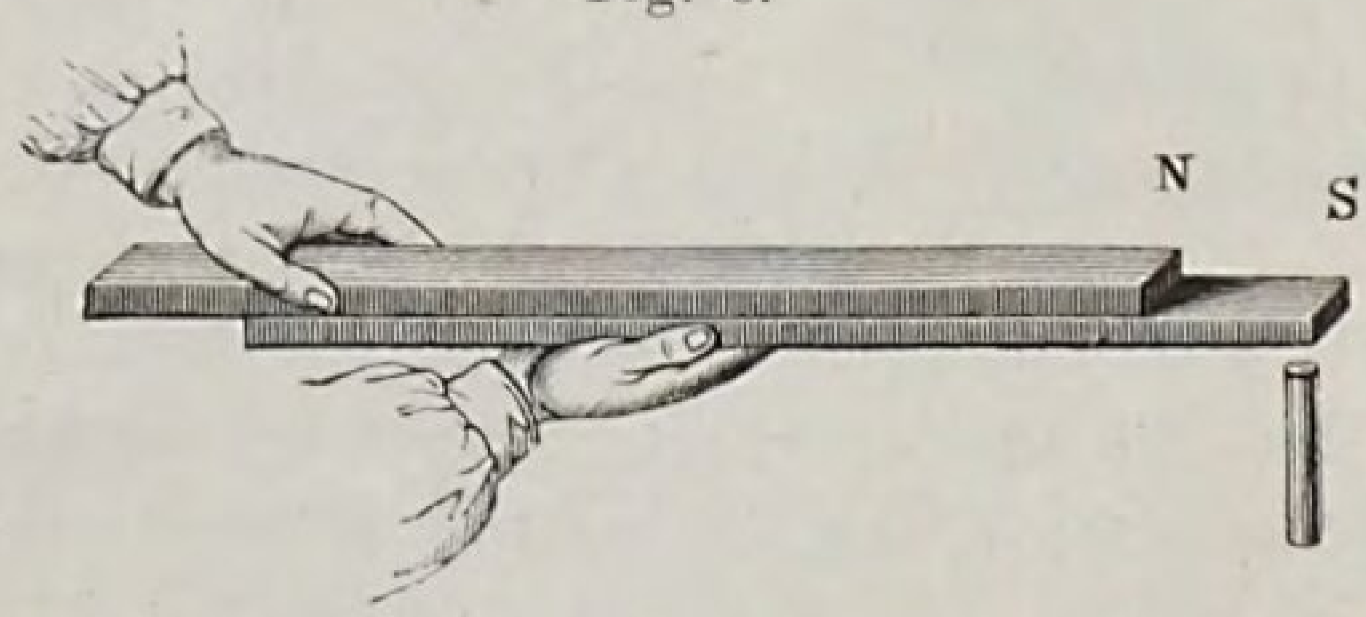
Ein Magnet wirkt jedoch nicht bloss auf unmagnetisches Eisen influenzirend ein, sondern auch auf einen anderen Magnet. Nimmt man

zum Beispiel bei dem in Fig. 6 dargestellten Versuche statt des unmagnetischen Eisenstäbchens ein Magnetstäbchen und nähert diesem den Pol des starken Magnets von oben, so wird der erstere Magnet entweder geschwächt oder gestärkt, je nachdem die vorhandenen Pole mit denjenigen entgegengesetzt oder gleichartig sind, welche durch die Influenz hervorgerufen werden. Es kann unter Umständen der vorhandene Magnetismus des schwächeren Magnets ganz neutralisirt oder sogar umgekehrt werden, indem die durch Influenz hervorgerufenen Pole über die ursprünglich vorhandenen überwiegen.

Auf diese Weise kann es auch geschehen, dass gleichartige Pole sich scheinbar anziehen statt abstossen. Dies zeigt folgender Versuch. Nähert man dem Nordpol einer Probenadel den Nordpol eines starken Magnets allmälig, so wird er abgestossen. Hält man aber den Nordpol der Probenadel fest und nähert den Nordpol des starken Magnets bis nahe oder ganz bis zur Berührung, so erfolgt Anziehung. Dieselbe erfolgt aber nur, weil durch die starke Influenz der Magnetismus der Probenadel umgekehrt wurde. Auf diese Weise kann, wie wir hören werden, auch eine bleibende Umkehrung der Pole erfolgen.

Der durch einen Pol hervorgerufene Influenzmagnetismus eines Stückes Eisen kann durch den entgegengesetzten Pol eines zweiten gleichzeitig genäherten Magnets theilweise oder ganz aufgehoben werden. Fig. 8 erläutert einen dies bezüglichen Versuch. Man hänge ein Eisenstäbchen an dem einen Pol, etwa dem Südpol eines horizontal gehaltenen Magnetstabes an, so wird das obere Ende des Stäbchens zu einem Nordpol, das untere zu einem Südpol. Wenn man nun aber einen zweiten Magnetstab so auf dem ersteren vorschiebt, dass sich der Nordpol N des oberen allmälig dem Südpol S des unteren nähert, so wird alsbald das bisher getragene Stück Eisen abfallen, weil der Nordpol N des oberen Magnets in dem Eisenstab gerade die entgegengesetzte magnetische Vertheilung hervorzurufen strebt, wie der Südpol S des unteren.

Fig. 8.



Die beiden mit ihren entgegengesetzten Polen zusammengelegten Magnete haben demnach nach Aussen ihre magnetische Kraft eingebüsst, dagegen ist jeder einzelne von ihnen stärker magnetisch geworden, denn jeder Pol stärkt durch Influenz den ihm benachbarten entgegengesetzten Pol. Man unterscheidet deshalb zwischen dem freien Magnetismus, dessen Wirkung nach Aussen geht und dem gebundenen Magnetismus, der im Inneren eines Magnets oder eines Systems von Magneten entwickelt ist.

Entstehung permanenter Magnete. Wiederholt man den 4
durch Fig. 6 versinnlichten Versuch mit einem frisch gehärteten Stahlstab, d. h. mit einem solchen, der glühend gemacht und dann in kaltem Wasser abgelöscht worden ist, so bleiben nur wenige Feilspänchen an dem unteren Ende hängen, der Stahlstab wird also nicht so leicht magnetisch wie ein Eisenstab. Er nimmt den Magnetismus erst an, wenn er längere Zeit mit dem Magnetpol in Berührung bleibt oder noch besser, wenn man ihn mit einem Magnetpole wiederholt bestreicht. Ein so magnetisch gemachter Stahlstab verliert aber seinen Magnetismus nicht mehr, wenn auch der magnetisirende Pol entfernt wird, der gehärtete Stahl nimmt also einen bleibenden Magnetismus an, was beim weichen Eisen nicht der Fall ist.

Die Kraft, mit welcher der gehärtete Stahl einer Aenderung seines jeweiligen magnetischen oder unmagnetischen Zustandes widersteht, heisst man seine Coërcitivkraft.

Die Coërcitivkraft des Stahls ist sehr von seiner Härte abhängig. Wenn glühender Stahl in kaltem Wasser abgelöscht wird, so wird er äusserst hart und spröde; in diesem Zustande ist seine Coërcitivkraft am grössten. Wird nun solcher Stahl gelinde erwärmt, angelassen, wie man es nennt, so verliert er einen Theil seiner Härte, zugleich aber auch einen Theil seiner Coërcitivkraft, und zwar von beiden um so mehr, je stärker er erwärmt wird. Den Grad des Anlassens beurtheilt man bekanntlich nach der Farbe der Oxydschicht, mit welcher sich blanker Stahl beim Erwärmen überzieht. Zuerst geht die natürliche Metallfarbe in Strohgelb über, bei zunehmender Hitze wird sie orange, dunkelorange, violettroth, dann lebhaft blau, worauf ein lebhaftes Grünlich-blau, die Wasserfarbe, folgt. Die erste dieser Nüancen entspricht ungefähr einer Temperatur von 200⁰, die letzte, die Wasserfarbe, einer Temperatur von 450⁰. Ein gehärteter Stahlstab, welcher bis zum Rothglühen erwärmt wird und dann allmälig erkaltet, hat seine Härte und seine Coërcitivkraft verloren und verhält sich fast ganz so wie weiches Eisen.

Um sehr haltbare Magnetstäbe zu machen, muss man demnach den Stahl möglichst hart nehmen, d. h. nur so weit anlassen, dass er nicht allzu spröde ist. In früheren Zeiten, wo man zum Magnetisiren nur Stahlmagnete anwandte, hatte das Magnetisiren harter Stahlstäbe grosse Schwierigkeiten, weil die verhältnissmässig schwachen magnetisirenden Kräfte, die man anwenden konnte, nicht hinreichten, die starke Coërcitivkraft hinlänglich zu überwinden, um eine bedeutende magnetische Vertheilung im Stahlstab zu bewirken; deshalb wählte man früher für Stahlmagnete stärker angelassene, also weichere Stahlstäbe und zwar meistens bis zum Blau (wie die Uhrfedern) angelassene.

Jetzt liefert uns der Elektromagnetismus Mittel, selbst die härtesten Stahlstäbe bis zu ihrer Sättigung zu magnetisiren. Die Schwierigkeit, welche bei der Darstellung sehr kräftiger Magnete zu überwinden ist,

liegt also gegenwärtig nur noch in der Stahlbereitung, keineswegs in der Magnetisirungsmethode.

Das magnetische Verhalten des Magneteisensteins ist fast ganz dasselbe, wie das des gehärteten Stahls, d. h. er ist fähig, bleibenden Magnetismus anzunehmen, aber nur einzelne Exemplare gewisser Fundorte sind schon von Natur polarmagnetisch. Das in Octaëdern krystallisirte Magneteisen von Pfitsch in Tyrol fand Greiss frei von Coërcitivkraft (Pogg. Annal. XCVIII.), so dass also das Verhalten solcher Octaëder ganz mit dem des ausgeglühten Stahls und des weichen Eisens übereinstimmt.

Elias hat gefunden, dass bei gleichem Gewichte ein kurzes und dickes Stück Magneteisenstein einen stärkeren Magnetismus annimmt, als ein ähnliches Stück Stahl; in langen und dünnen Stücken dagegen hat letzterer entschieden die Oberhand.

Vor einigen Jahren hat man die Entdeckung gemacht, dass Gusseisen, und namentlich das graue, durch Härten gleichfalls eine bedeutende Coërcitivkraft erhält, dass es sich also gleichfalls zur Darstellung künstlicher Magnete verwenden lässt.

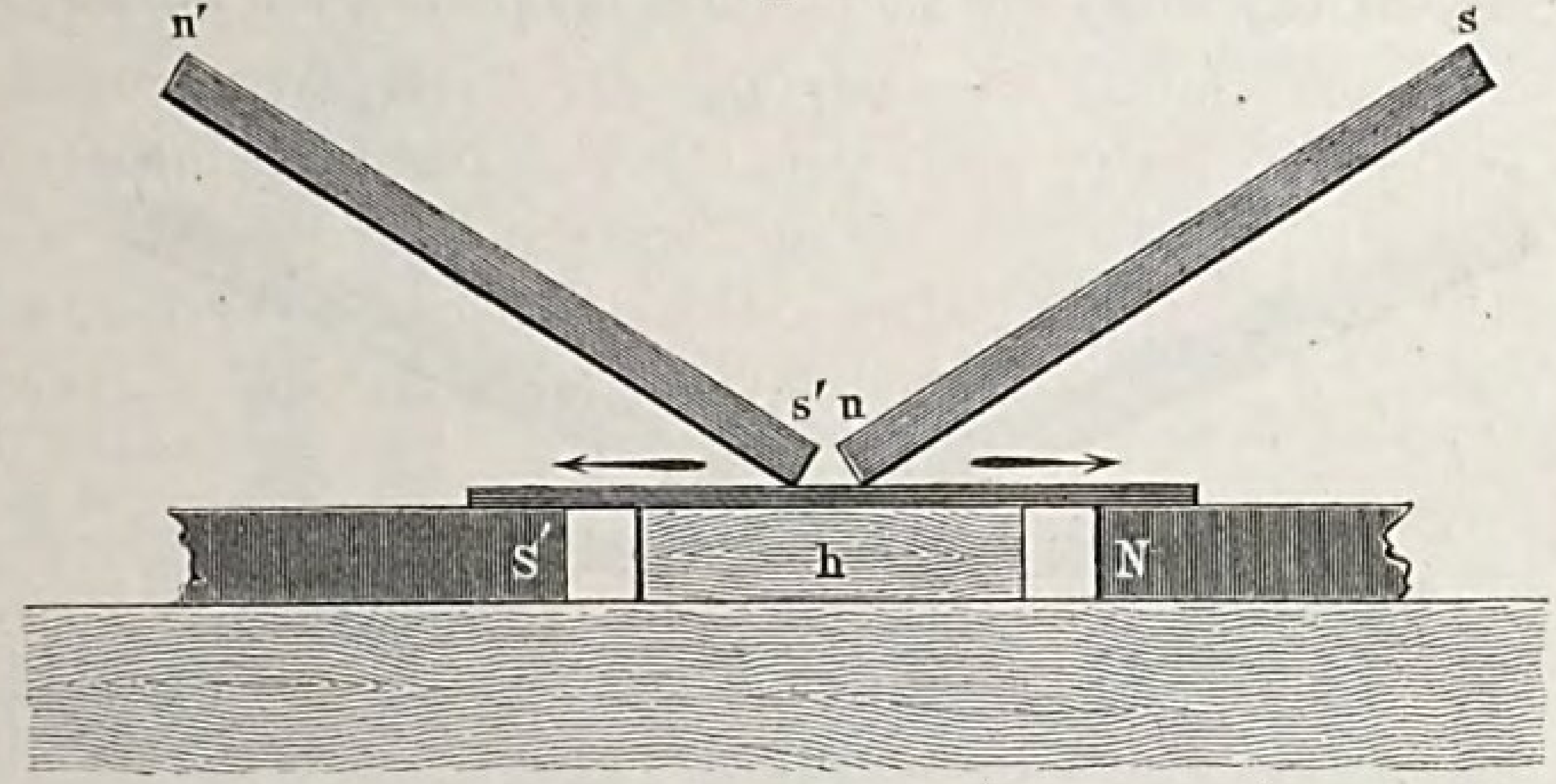
Das vollständig stahlfreie, das ist kohlenstofffreie weiche Eisen hat keine Coërcitivkraft, kann also keinen permanenten Magnetismus annehmen. Da es aber schwer hält, solches Eisen aufzutreiben, da dasselbe fast immer Spuren von Stahl enthält, so findet man auch fast immer nach vorübergehender Magnetisirung Spuren „remanenten“ Magnetismus.

5 **Methoden zur Herstellung von Stahlmagneten.** Um dünnere Stahlstäbchen zu magnetisiren, verfährt man ganz einfach so, dass man das Stäbchen seiner ganzen Länge nach stets in derselben Richtung mit einem und demselben Pol eines kräftigen Magnets streicht, oder noch besser, dass man die eine Hälfte des Stäbchens von der Mitte gegen das eine Ende hinfahrend an dem einen, die andere Hälfte in gleicher Weise an dem anderen Pole des Magnets streicht. Das Ende der an dem Nordpol gestrichenen Hälfte wird natürlich ein Südpol, das Ende der anderen, an dem Südpole gestrichenen Hälfte wird ein Nordpol.

Um stärkere Stäbe zu magnetisiren, wendet man die von Duhamel angegebene Methode des getrennten Striches an; sie besteht darin, dass man zwei starke Magnetstäbe (oder Magnetbündel von der im nächsten Paragraph zu beschreibenden Art) so legt, dass die Axe des einen Bündels in die Verlängerung der Axe des anderen zu liegen kommt, und dass die entgegengesetzten Pole einander zugekehrt sind, wie man Fig. 9 sieht, wo N den Nordpol des einen, S' den Südpol des anderen Stabes darstellt. Das zu magnetisirende Stäbchen legt man nun so, wie man in der Fig. 9 sieht, und unterstützt es in der Mitte noch durch ein Holzstück h, auf welchem man es auch noch befestigen kann, damit keine Verrückung möglich ist. Nun nimmt man die beiden Streich-

magnete *n s* und *n' s'*, den einen in die rechte, den anderen in die linke Hand, setzt sie 25 bis 30 Grad gegen die Horizontale geneigt in der

Fig. 9.



Mitte des zu magnetisirenden Stabes auf, streicht alsdann mit langsamer regelmässiger Bewegung von der Mitte aus gegen die Enden, so dass die Magnetstäbe *n s* und *n' s'* gleichzeitig an den entgegengesetzten Enden des zu magnetisirenden Stäbchens ankommen; hier hebt man sie ab, setzt wieder in der Mitte auf und wiederholt dann dasselbe Verfahren mehrere Mal. Es versteht sich von selbst, dass die Streichmagnete so auf die Nadel aufgesetzt werden müssen, dass *n* gegen *N* und *s'* gegen *S'* hingeführt wird. Diese Methode ist besonders geeignet, um Magnetnadeln für Bussolen oder Stahlstäbe, welche nicht mehr als 4 bis 5 mm dick sind, regelmässig und vollständig zu magnetisiren.

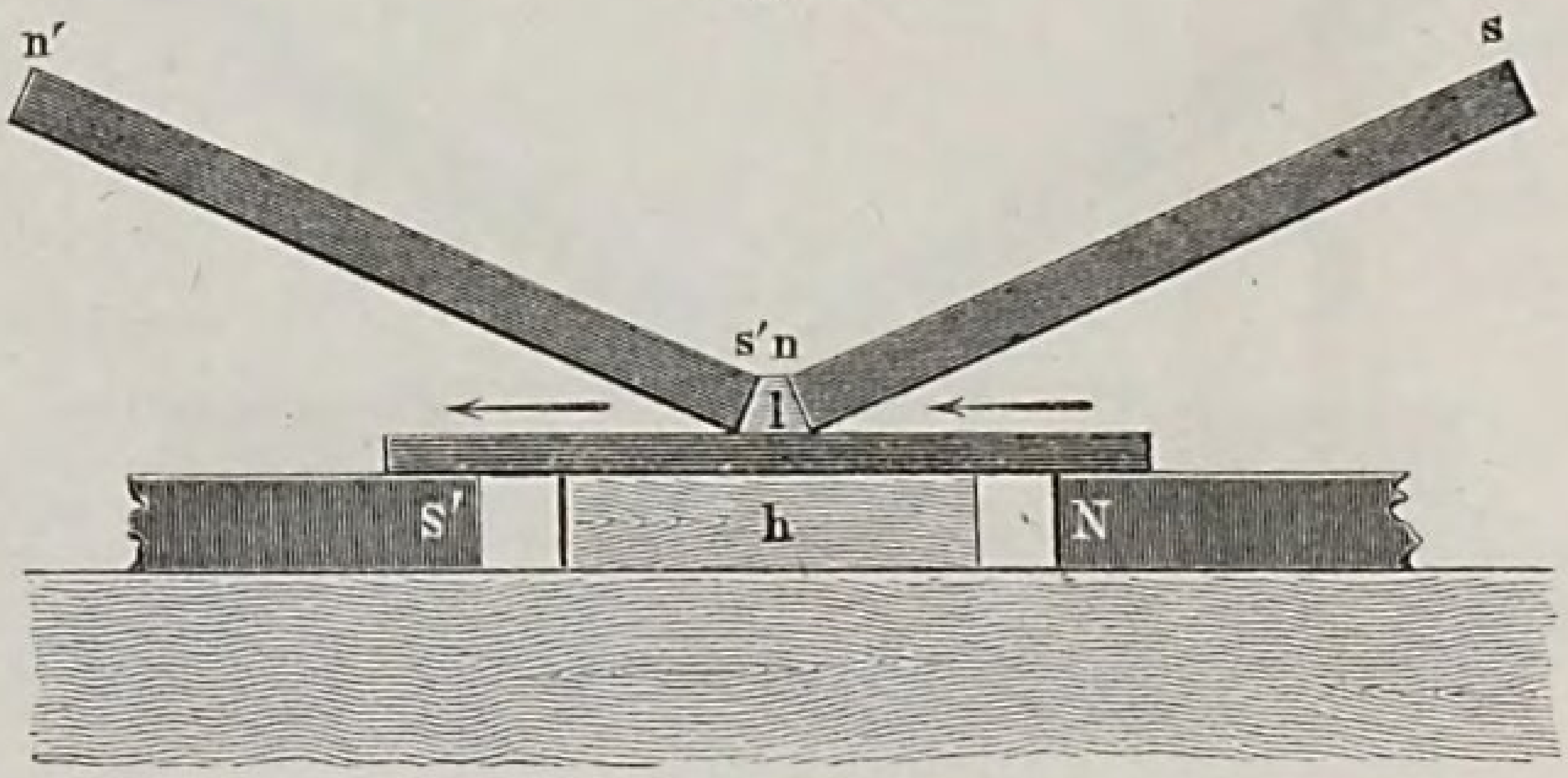
Für Stäbe, welche mehr als 4 bis 5 mm dick sind, ist die Methode unzureichend, und man wendet in solchen Fällen die von Aepinus herrührende Methode des Doppelstriches an. Der Doppelstrich wird folgendermaassen ausgeführt. Man legt den zu magnetisirenden Stab auf dieselbe Weise zwischen zwei Magnetbündel wie bei Duhamel's Methode, und setzt auch die beiden Streichmagnete auf dieselbe Weise in der Mitte auf, nur giebt man ihnen eine noch geneigtere Stellung, so dass sie nur einen Winkel von 15 bis 20 Grad mit der Horizontalen machen. Alsdann streicht man mit ihnen nicht nach den entgegengesetzten Polen, sondern man bewegt beide nach demselben Stabende hin, alsdann zurück den ganzen Stab entlang. Nachdem man sie auf diese Weise zusammen hinlänglich oft über den Magnet hin und her geführt hat, hebt man sie von der Mitte des Stabes wieder ab. Auf jeden Fall muss zwischen den unteren Enden der Streichmagnete ein Zwischenraum von 5 bis 6 mm sein, den man am besten durch ein Stückchen Holz, Messing oder Blei sichert, welches in Fig. 10 (a. f. S.) durch *l* bezeichnet ist.

Der Doppelstrich giebt einen starken Magnetismus; er darf aber zum Magnetisiren von Nadeln für Bussolen und Stäbe, welche zu genauen Untersuchungen dienen sollen, nicht angewendet werden, weil er

fast immer ungleich starke Pole giebt und leicht Folgepunkte veranlasst.

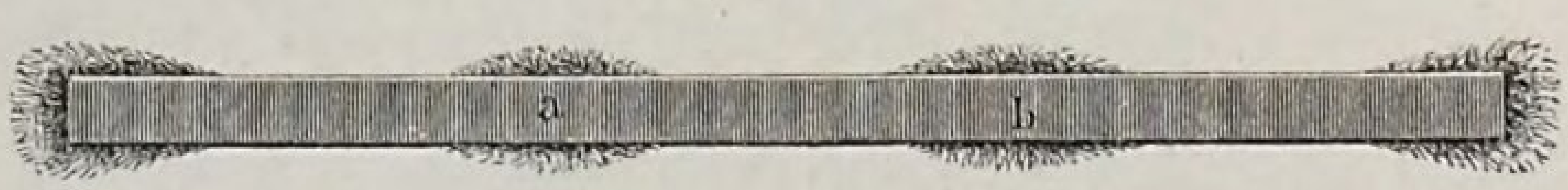
Mit dem Namen der Folgepunkte bezeichnet man nämlich magnetische Pole, welche nicht am Ende eines magnetisirten Stabes, sondern

Fig. 10.



an beliebigen Zwischenpunkten sich zeigen und welche stets die Folge einer unregelmässigen Magnetisirung sind; sie treten nämlich dann auf, wenn einzelne Stücke der Längenausdehnung des Stabes in entgegengesetzter Richtung magnetisirt sind, und zeigen dann stets die Stellen, an welchen ein Polaritätswechsel stattfindet. Man kann solche Folgepunkte am einfachsten dadurch erkennen, dass man den Stab in Eisenfeile wälzt, wobei dann an allen Folgepunkten stärkere Büschel hängen bleiben, oder auch dadurch, dass man ein starkes Papierblatt auf den Magnetstab legt und Eisenfeile darauf siebt, wobei dann ein mit Folgepunkten versehener Magnetstab eine der in Fig. 11 abgebildeten ähnliche Anordnung giebt.

Fig. 11.



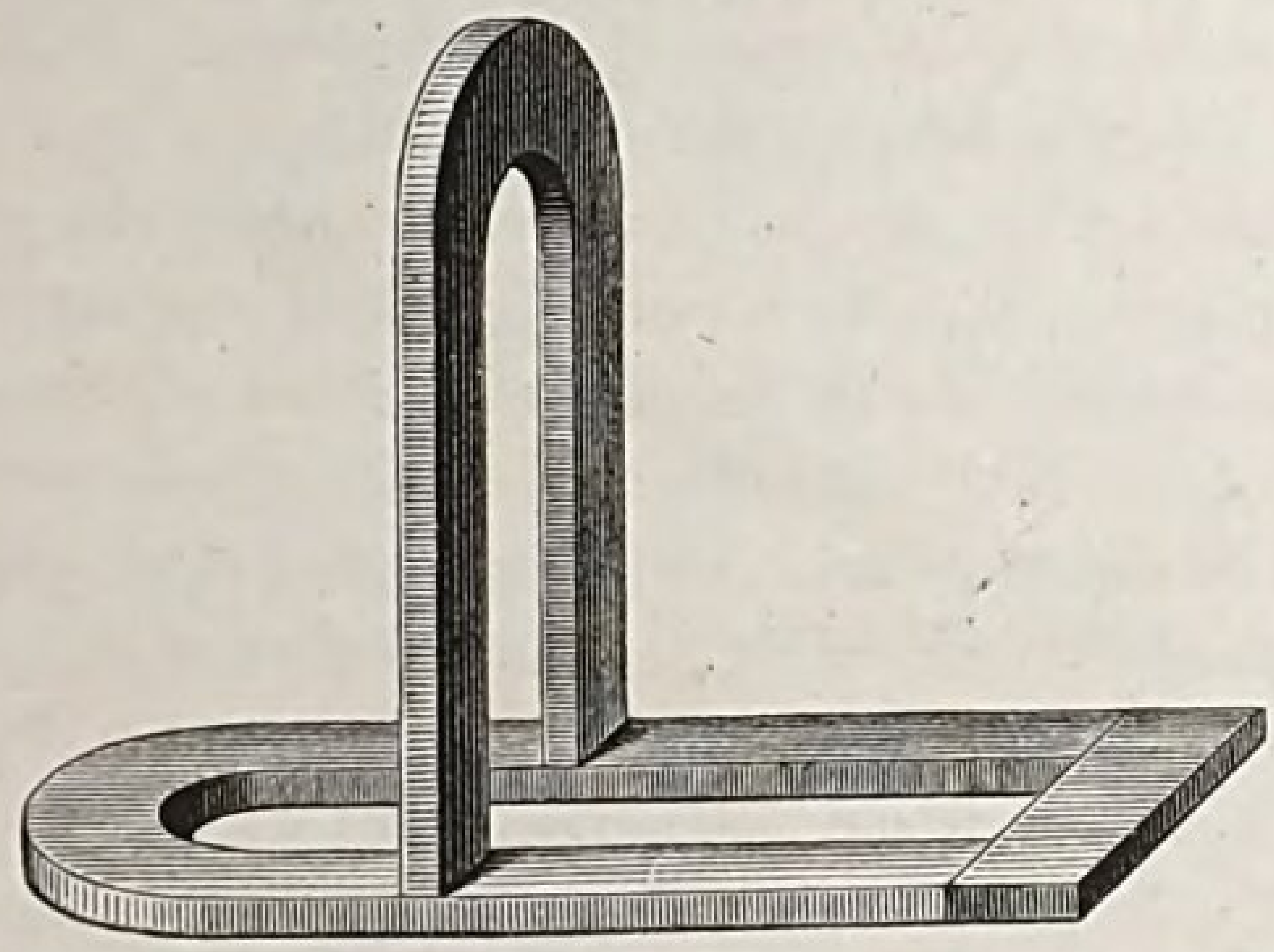
Es versteht sich von selbst, dass Magnetnadeln frei von Folgepunkten sein müssen.

Um hufeisenförmige Magnete zu machen, bedient man sich am besten der Hoffer'schen Methode, welche darin besteht, dass man an die beiden freien Enden des zu magnetisirenden, horizontal gelegten Hufeisens, welche die Pole werden sollen, eine Platte von weichem Eisen anlegt, wie Fig. 12 zeigt, einen hufeisenförmigen Streichmagnet, welcher gleiche Breite mit dem zu magnetisirenden haben muss, am Bogen aufsetzt, und ihn dann parallel mit sich selbst gegen die Enden hin streicht.

In Ermangelung eines Streichmagnets von der gleichen Breite des neu herzustellenden kann man auch den einen Schenkel des Hufeisens zuerst mit dem einen, dann den anderen Schenkel mit dem anderen Pol eines kräftigen Magnetstabes streichen, noch vortheilhafter aber wendet man

die Methode des *Kreisstriches* an, d. h. man streicht mit einem und demselben Pole des Streichmagnets zuerst auf dem einen Schenkel vom Bogen bis zum Ende, dann ohne Unterbrechung auf der weichen Eisenplatte fort zum Ende des anderen Schenkels, auf diesem weiter bis zum Bogen, über den Bogen weg und so weiter, immer den magnetisirenden Pol im Kreise herum führend. Dieselbe Operation wird dann auf der anderen Seite der Stahlplatte wiederholt.

Fig. 12.



Noch bequemer lässt sich die Operation des Kreisstrichs ausführen, wenn man statt der Eisenplatte ein dem ersteren ganz gleiches Hufeisen an die Enden desselben ansetzt. Man erhält auf diese Weise gleich zwei Hufeisenmagnete.

Die auf Anwendung des elektrischen Stromes beruhenden Magnetisirungsmethoden werden wir später kennen lernen.

Magnetische Armaturen nennt man *eiserne Ansatzstücke* 6
oder *eiserne Fassungen*, mit welchen natürliche oder künstliche Magnete versehen werden, um ihren Magnetismus in zweckmässiger Weise zur Wirkung zu bringen.

So wird z. B. an jede der Polflächen eines *natürlichen Magnets* eine ungefähr 2 mm dicke Eisenplatte (die *Flügel* l und l', Fig. 13 und Fig. 14 angelegt und durch messingene Bänder befestigt, welche unten in den hervorragenden Eisenstücken p und p', den *Füssen*, enden. Durch die magnetisirende Wirkung, welche der natürliche Magnet auf diese angelegten Eisenstücke ausübt, werden nun die Füsse p und p' in entgegengesetzte Pole verwandelt, deren magnetische Kraft sich besser verwerthen lässt, als die der ursprünglichen Magnetpole, weil sie nach einer und derselben Richtung hin frei vorragen.

Fig. 13.

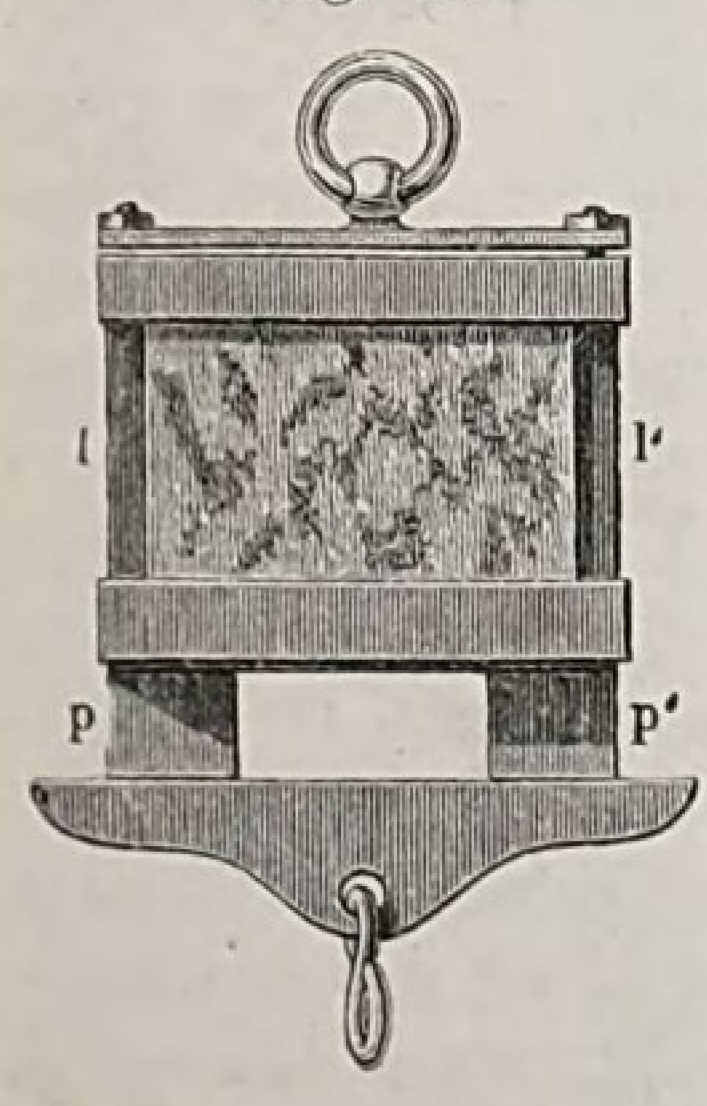
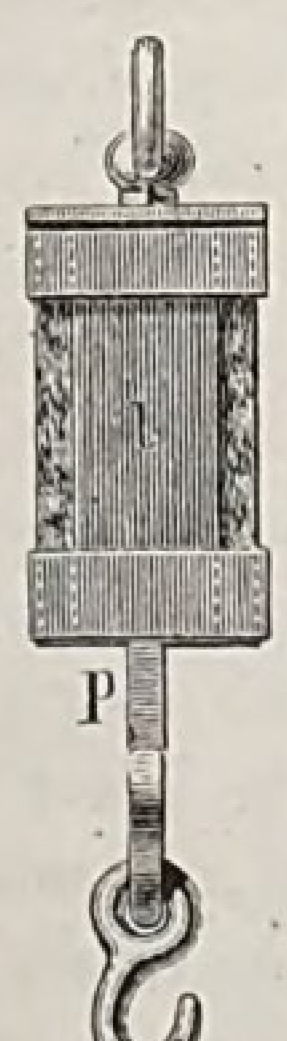


Fig. 14.

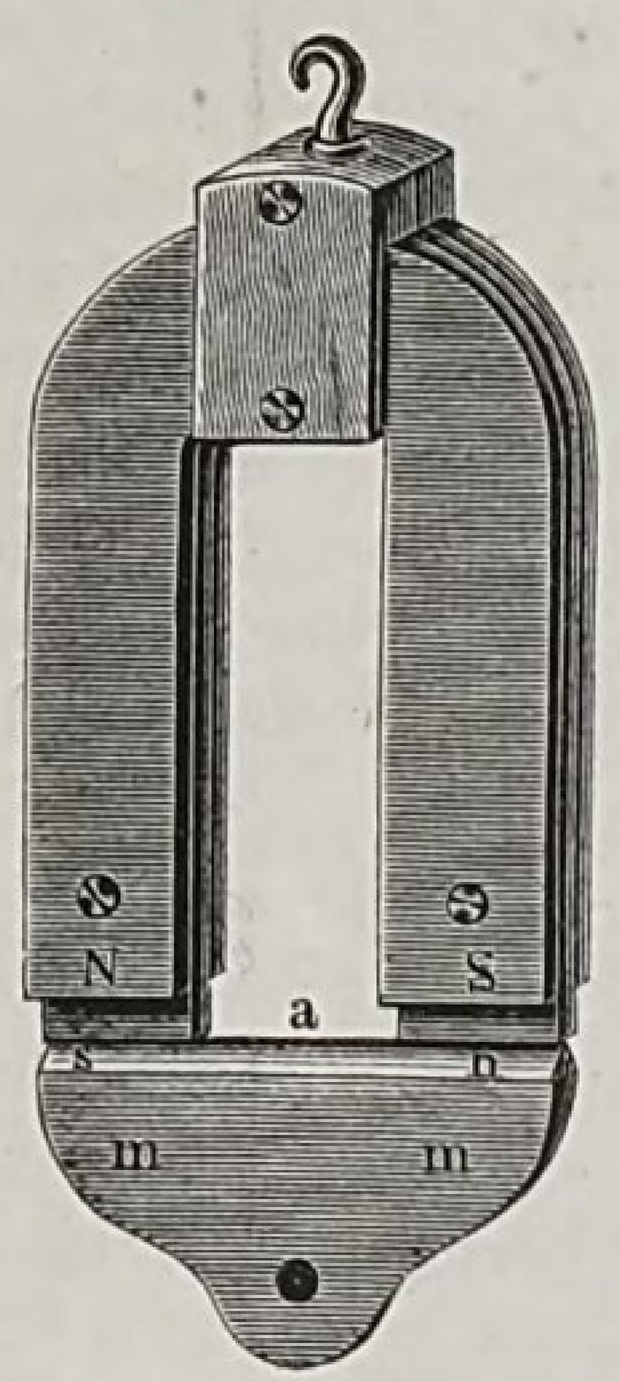


Um eine starke Tragkraft zu erreichen, muss man dafür sorgen, dass die beiden Pole *gleichzeitig* zur Wirkung kommen, was bei natür-

lichen Magneten, welche in der angegebenen Weise mit *Armaturen* versehen sind, dadurch geschieht, dass man einen eisernen Anker an die Pole p und p' ansetzt, wie man es aus den Figuren ersieht.

Um bei *künstlichen* Magneten eine möglichst grosse Tragkraft zu erzielen, muss man ihnen eine U-förmige Gestalt geben. Fig. 15 stellt einen solchen *Hufeisenmagnet* dar. Er besteht aus mehreren hufeisenförmig gebogenen Stahlplatten, welche unmittelbar auf einander gelegt werden. Zwei Schrauben halten sie zusammen. Jede Platte wird vor dem Zusammensetzen für sich magnetisirt. Der Bogen des Magnetbündels steckt in einer Hülse von Holz oder Messing, welche mit einem Haken oder mit einem Ringe zum Aufhängen versehen ist.

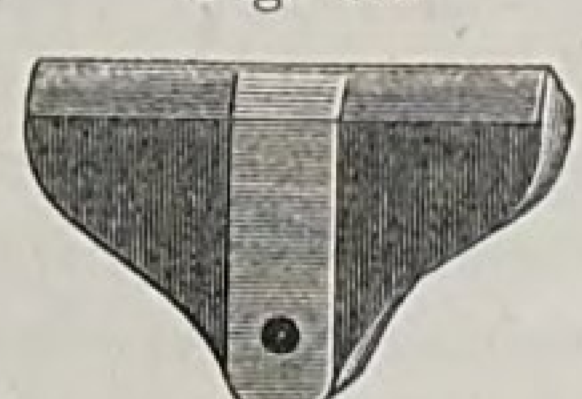
Fig. 15.



Ein Stück weiches Eisen $m\,m$ bildet die Armatur, welche hier der *Anker* heisst und an welchen auch das zu tragende Gewicht angehängt wird. Die Form des Ankers ist nicht gleichgültig. Am besten giebt man ihm die in der Figur angegebene Gestalt. Die Berührungsfläche, mit welcher der Anker die Polflächen berührt, darf nicht zu breit sein, weshalb man denselben oben noch etwas schmäler macht als die Platte ist, aus der er genommen wurde. Man macht die Bahn des Ankers je nach der Grösse der Magnete 1 bis 4 mm breit. Dass bei breiteren Berührungsflächen die Tragkraft geringer wird, rührt wahrscheinlich daher, dass in diesem Falle die Berührung zwischen dem Anker und den Polen nicht leicht so vollständig hergestellt werden kann, als bei schmälerer Bahn.

Denken wir uns den Anker durch einen Messingstreifen von 1 bis 2 cm Breite in zwei gleiche Theile getheilt, wie es Fig. 16 darstellt, so wird jeder Pol des Magnets nur auf die eine Hälfte des Ankers magnetisirend wirken können. Die Tragkraft, welche der Magnet unter diesen Umständen zeigt, ist die Summe der Tragkräfte der beiden einzelnen Pole. Findet aber eine solche Theilung des Ankers nicht statt, besteht er ganz aus weichem Eisen, so pflanzt sich die magnetisirende Wirkung jedes der beiden Magnetpole durch die ganze Masse des Ankers fort. Der Pol S begünstigt die Bildung eines Südpols in s, N unterstützt die Bildung eines Nordpols in n, die magnetische Polarität in n und in s wird also ungleich kräftiger sein, als wenn sie nur von dem benachbarten Pole des Magnets ausgegangen wäre. Daher kommt es denn auch, dass die Tragkraft eines gehörig mit einem Anker armirten Magnets die doppelte Tragkraft des einzelnen Poles bei weitem übertrifft.

Fig. 16.



So vermochte z. B. ein kleiner Hufeisenmagnet bei getheiltem Anker kaum 1 kg zu tragen, während ein ganz eiserner Anker bei einer Belastung von $4\frac{1}{4}$ kg noch nicht abriss.

Da jeder Pol eines Hufeisenmagnets durch den angelegten Anker hindurch verstärkend auf den anderen Pol wirkt, so ist der angelegte Anker ein Mittel, nicht allein eine allmälige Schwächung des Magnets zu verhindern, sondern sogar eine allmälige Kräftigung schwacher Magnete zu erzielen.

Wenn man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile taucht, so hängt sich zwischen den Polen ein Bündel derselben an; wenn man sie nun mit Wasser befeuchtet und dann mittelst einer Weingeistflamme und eines Löthrohres zum Glühen erhitzt, während sie noch immer dem vertheilenden Einflusse des Magnets ausgesetzt ist, so geht eine theilweise Oxydation des Eisens vor sich, man erhält eine ziemlich compacte Masse, deren Zusammensetzung der der natürlichen Magnete ähnlich und welche ebenfalls bleibend magnetisch ist.

Der eben beschriebene Versuch rührt von Kessler her. Eine schöne Abänderung desselben ergiebt sich, wenn man statt der gewöhnlichen Eisenfeile das feine Eisenpulver der Apotheken in Anwendung bringt. Taucht man die Pole eines Hufeisenmagnets in dieses Eisenpulver, so bleibt an ihnen ein Bündel hängen, wie es Fig. 17 andeutet. Dieses so am Magnet anhängende Bündel Eisenpulver brennt nun, wie Magnus gezeigt hat, für sich ohne Weiteres fort, wenn man es einmal, etwa mit Hülfe eines Streichhölzchens, angezündet hat. Ist nach einiger Zeit die bis dahin langsam fortglimmende Masse erloschen, so ist sie nun auch in einen bleibenden Magnet verwandelt, dessen Theilchen noch besser zusammenhängen als man es bei der zuerst beschriebenen Form des Versuchs erreichen kann.

Fig. 17.

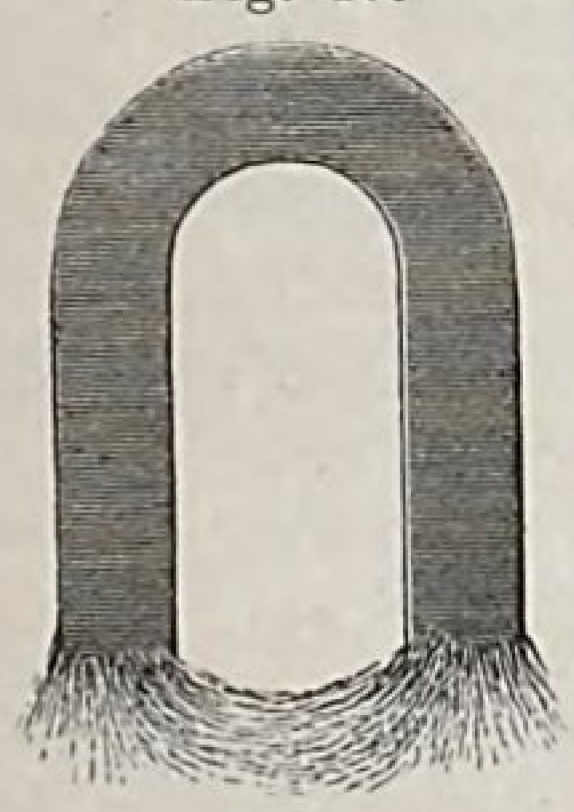
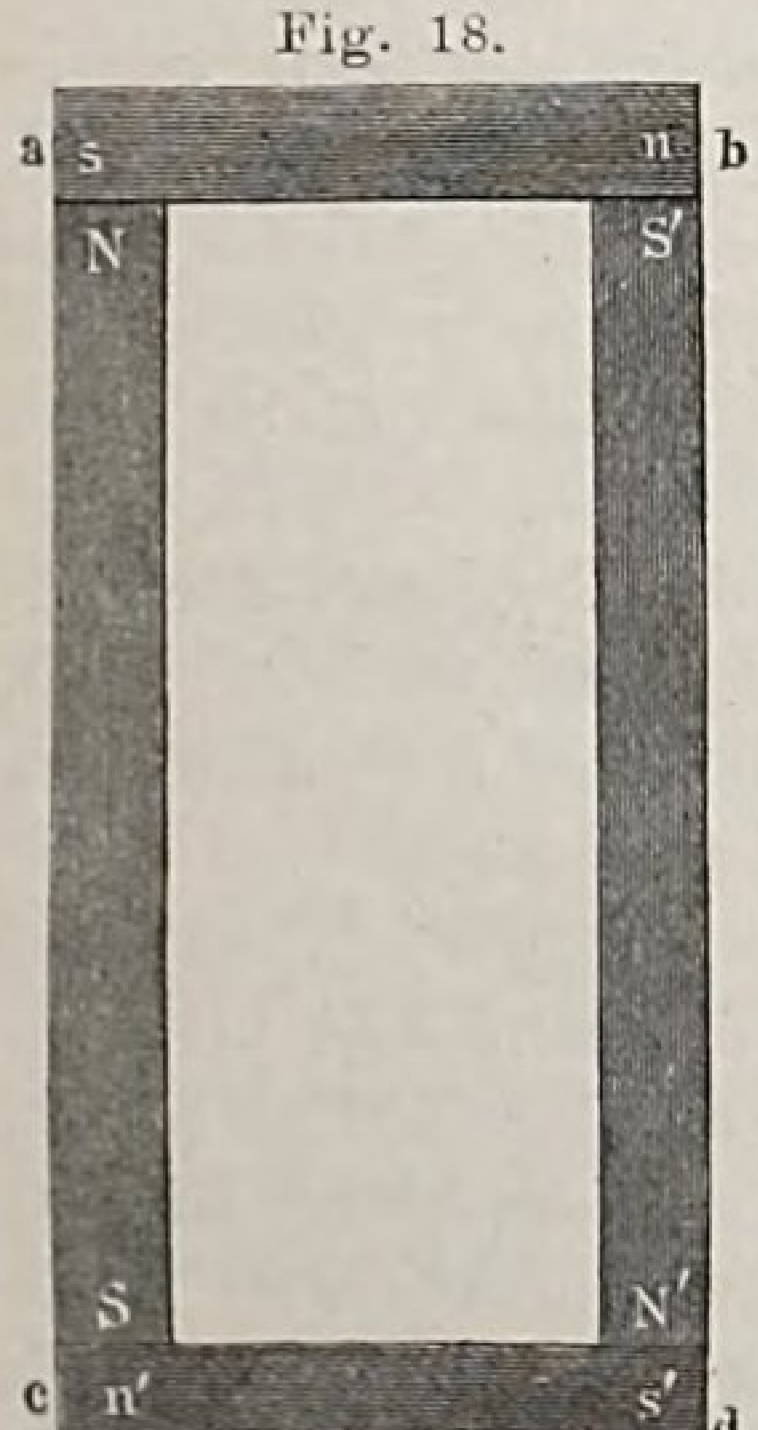


Fig. 18.

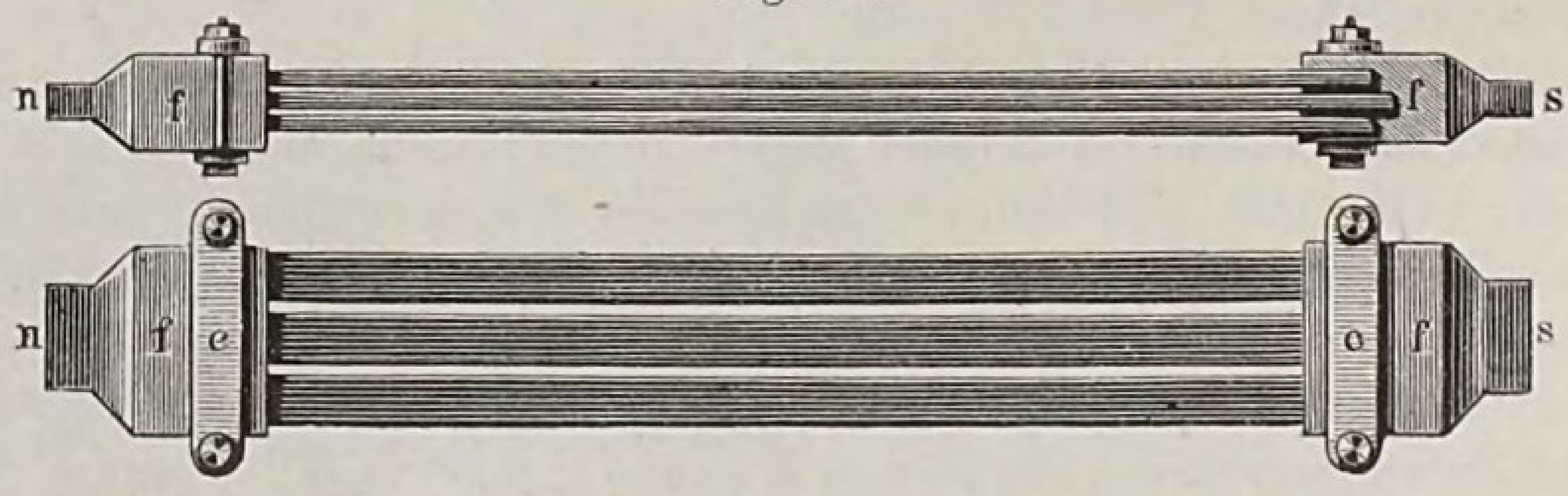


Das oben dargelegte Princip der gegenseitigen Influenz durch Vorlegung eines Ankers kann man auch zur Erhaltung und Kräftigung des Magnetismus in Stahlstäben in Anwendung bringen. Man legt zwei gleiche Magnetstäbe NS und $N'S'$, Fig. 18, parallel so neben einander, dass der Nordpol des einen nach derselben Seite gerichtet ist, wie der Südpol des anderen und fügt dann zwei Stücke von weichem Eisen, ab und cd, so an, dass dadurch das Rechteck geschlossen wird.

Eiserne Armaturen dienen auch, um

nach Coulomb's Methode durch Combination einzelner Magnetstäbe sogenannte magnetische Magazine herzustellen. Fig. 19 stellt ein solches dar, welches aus neun Magnetstäben besteht, die in drei Schichten geordnet sind, deren mittlere auf beiden Seiten etwas vorragt. Die Enden dieser Stäbe sind in die eisernen Armaturen *f* eingesetzt und durch die Messingbänder *c* zusammengehalten. Die hervorragenden

Fig. 19.



Enden *n* und *s* dieser eisernen Armaturen bilden sehr kräftige Magnetpole, weil in ihnen gewissermaassen die magnetische Polarität der einzelnen Magnetstäbe concentrirt erscheint.

Jamin hat sehr kräftige Hufeisenmagnete aus vielen einzeln magnetisirten und dann zusammengelegten flachen Stahlstreifen hergestellt. Sie sind unter dem Namen der Jamin'schen Blättermagnete bekannt.

Solcher Magnetbündel bedient man sich auch, um nach den in §. 5 besprochenen Methoden die Magnetisirung von Stahlstäben und Stahlnadeln auszuführen.

7 **Tragkraft der Hufeisenmagnete.** Wenn man einen aus einer einzigen Stahllamelle bestehenden Hufeisenmagnet auf einen ganz gleichen in der Weise auflegt, dass die gleichnamigen Pole auf einander zu liegen kommen, so kommt in Folge der gegenseitigen Influenz eine gegenseitige Schwächung der beiden Magnete zu Stande. Legt man z. B. in der angegebenen Weise zwei Hufeisenmagnete auf einander, deren jeder für sich allein 5 kg zu tragen im Stande ist, so werden sie zu einem Magnet verbunden nicht im Stande sein, eine Last von 10 kg zu tragen.

Daraus geht denn überhaupt hervor, dass die Tragkraft der Hufeisenmagnete durchaus nicht ihrer Masse proportional wachsen kann, denn eine Stahlplatte von doppelter Dicke kann als eine Combination von zwei Stahlplatten einfacher Dicke betrachtet werden.

Wenn man eine hufeisenförmige Stahllamelle magnetisirt, während der Anker vorgelegt ist, so kann man ihren Magnetismus weit über die Gränze hinaus steigern, die sich ohne Anker erreichen lässt. Sobald aber der Anker abgerissen wird, nimmt der Magnetismus wieder ab und der Magnet trägt jetzt bei weitem nicht mehr so viel als vorher. Unter constanter Tragkraft eines Magnets versteht man diejenige, welche ihm nach mehrmaligem Abreissen des Ankers noch bleibt. Durch Stossen,

Fallenlassen etc. kann freilich auch die constante Tragkraft eines Magnets noch bedeutend geschwächt werden.

Nach Häcker's Versuchen besteht zwischen Gewicht und Tragkraft stählerner Hufeisenmagnete die Relation

$$M = a\sqrt[3]{P^2},$$

wenn M die Tragkraft, P das Gewicht des Magnets, a aber einen constanten Factor bezeichnet. Für seine ausgezeichneten Stahlmagnete ergab sich hier, wenn P und M in Pfunden ausgedrückt sind, der Werth 12·6, auf Kilogramme umgerechnet erhält man $a = 10$ (genauer 10·3). Nach dieser Formel ergeben sich beispielsweise folgende Tragkräfte, wie sie in der zweiten Columne der nebenstehenden Tabelle berechnet sind.

Gewicht in Kilogrammen	Tragkraft in Kilogrammen	
	berechnet nach Häcker's Formel	der Magnete von N. van Wetteren
0·5	6·3	11·5
1	10·0	21
1·5	13·1	27
2	15·8	33
5	29·2	61
10	46·4	97
20	73·7	154
30	96·6	202
40	117·0	245
50	136·0	285
100	215·5	452

Ganz besonders kräftige Magnete werden von N. van Wetteren in Harlem hergestellt. Die Tragkraft der Hufeisenmagnete dieser Firma ist etwas mehr als doppelt so gross, als sie sich nach Häcker's Formel mittelst der Constanten $a = 10$ berechnet, wie man sich durch die Zahlen der dritten Spalte der obigen Tabelle überzeugen kann. Es würde sich aus denselben für a der Durchschnittswerth 21 berechnen.

Vorstellungen über das Wesen des magnetischen Zustandes. Zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen hat man früher die Hypothese aufgestellt, dass im Stahl und im Eisen zwei imponderabele Flüssigkeiten vorhanden seien, denen die Eigenschaft zukommen soll, dass die Theilchen derselben Flüssigkeit einander ab- 8

stossen, dass aber eine Anziehung stattfinde zwischen den Theilchen der einen und den Theilchen der anderen Flüssigkeit.

Der bei den magnetischen Polen üblichen Bezeichnungsweise entsprechend, hat man die beiden Flüssigkeiten als nordmagnetisches und südmagnetisches Fluidum unterschieden.

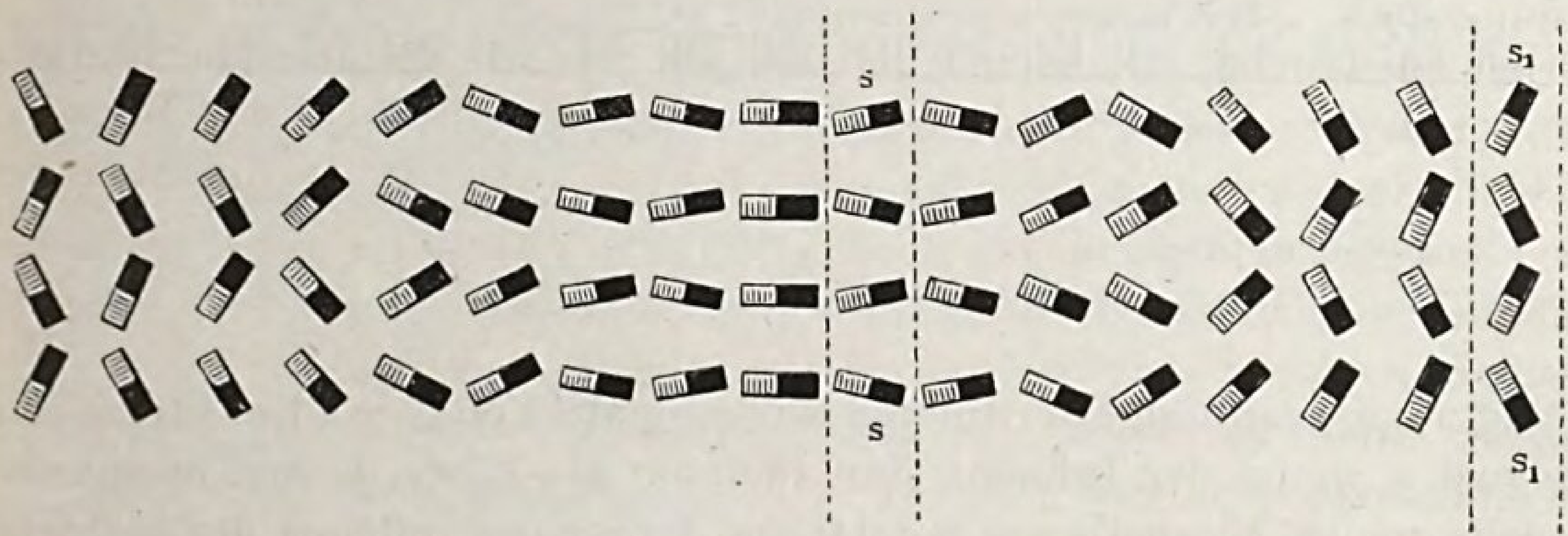
Was die Vertheilung der beiden magnetischen Fluida in einem Magnete betrifft, so schien es auf den ersten Blick am einfachsten, anzunehmen, dass in der Mittellinie kein magnetisches Fluidum, dass aber von da nach dem einen Pole hin das nordmagnetische, nach dem anderen hin das südmagnetische Fluidum in immer wachsender Dichtigkeit vorhanden sei. Wäre diese Vorstellungsweise richtig, so müsste ein Magnetstab, den man in seiner Mittellinie durchbricht, zwei Stücke liefern, von denen das eine nur einen Nordpol, das andere nur einen Südpol hat. Der Versuch lehrt, dass dieses nicht der Fall ist, da die Bruchstücke stets sowohl nördlichen als südlichen Magnetismus besitzen. Da ferner die Versuche beim Streichen von Stahlstäben mit Magneten zeigen, dass der neue Magnet nicht auf Kosten des alten entsteht, indem der letztere nichts von seinem Magnetismus verliert, während der neue Magnet sich bildet, so konnte man auch nicht annehmen, dass das Magnetisiren auf einem Ueberführen magnetischer Fluida beruhe. Man nahm daher an, dass beide Fluida zuvor in jedem Stahl- oder Eisenmolecüle ein für allemal in gleichen Mengen, sich neutralisirend, vorhanden seien. Beim Magnetisiren werden diese Fluida in jedem Molecüle gesondert und an den entgegengesetzten Enden derselben angehäuft. Diese Hypothese gestattet allerdings, wie Poisson gezeigt hat, die wichtigsten magnetischen Erscheinungen zu erklären, da aber die Annahme solcher unwägbarer Fluida an sich höchst unwahrscheinlich ist, so wurde diese Vorstellung wiederum verlassen und eine von W. Weber gegebene Vorstellungsweise angenommen, welche sich ohne Annahme solcher Fluida den Beobachtungen anschmiegen lässt. Nach dieser zweiten Vorstellungsweise besteht jedes Stück Eisen oder Stahl aus Molecülen oder Elementartheilchen, deren jedes von vorn herein ein Magnet mit zwei Polen ist. Man nennt dieselben Molecular- oder Elementarmagnete. In jedem unmagnetischen Eisen- oder Stahlstücke haben diese Elementarmagnete eine verworrene unregelmässige Lage, so dass keinerlei Richtung der magnetischen Axen überwiegt. In magnetischem Eisen oder Stahl dagegen haben die Molecularmagnete eine mehr oder weniger vorherrschende, übereinstimmende Richtung. Fig. 20 mag ein beiläufiges Bild eines unmagnetischen Stabes geben. Für jede Lage eines Elementarmagnetes kommt im selben Querschnitte eine entgegengesetzte vor, es kann also in keiner Schichte magnetische Wirkung nach Aussen eintreten. Fig. 21 dagegen zeigt die Anordnung der Molecularmagnete in einem magnetischen Stabe. Die dunklen Theile, welche die nordmagnetischen Hälften der Molecularmagnete vorstellen mögen, sind gegen das rechte Ende, die südmagnetischen Hälften gegen das linke Ende des

Stabes gerichtet. Dabei ist nicht erforderlich, dass alle Molecularmagnete mit dieser Richtung übereinstimmen, auch nicht, dass dieselben genau die Richtung der magnetischen Axe des Stabes annehmen. Es wird sich dies vielmehr nach der Stärke des Magnetismus richten. Je

Fig. 20.



Fig. 21.



zahlreicher und je genauer an einer Stelle des Stabes die Molecularmagnete mit ihren Richtungen übereinstimmen, desto stärker wird daselbst der magnetische Zustand (nicht der freie Magnetismus) sein. Die Magnetisirung eines unmagnetischen Stabes beruht dann auf einer Drehung der Molecularmagnete in eine solche Lage, dass eine überwiegende Orientirung derselben in der Richtung der magnetischen Axe des Stabes entsteht. Bei Eisenstäben erhält sich diese neue Lage nur so lange als die Influenz andauert, nach dem Aufhören derselben kehrt die verworrene Lage der Molecularmagnete zurück. Beim Stahl dagegen nehmen die Molecularmagnete bleibend ihre neue Lage an.

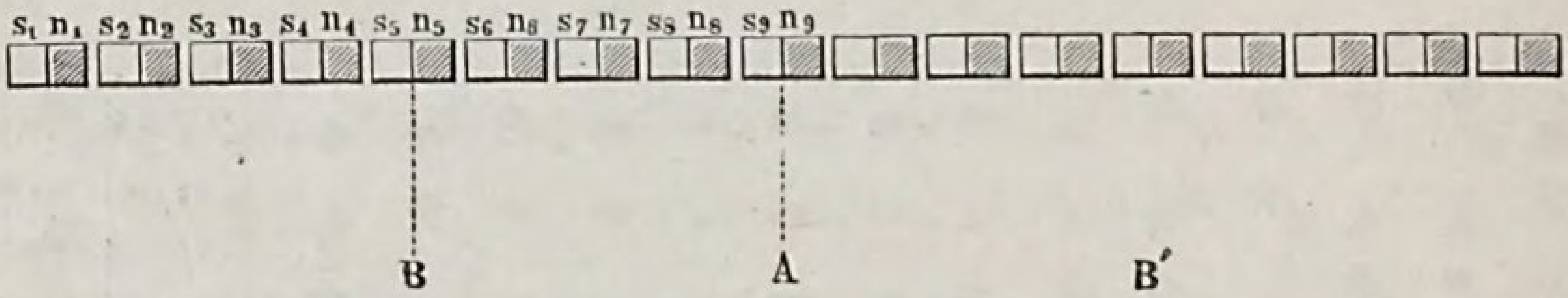
Wir haben nun im nächsten Paragraph zu zeigen, dass die an den Magnetstäben beobachtete Vertheilung des Magnetismus und die Stärke der magnetischen Wirkung an verschiedenen Stellen mit dieser Theorie der Molecularmagnete im Einklange stehe.

Vertheilung des Magnetismus in Magnetstäben. Man 9
muss zwischen dem gesammten und dem freien Magnetismus in einem Magnetstabe wohl unterscheiden. Um zunächst die Vertheilung des ersteren zu studiren, wollen wir uns die sämmtlichen in einem Querschnitt oder in einer Schichte ss, $s_1 s_1$, Fig. 21, befindlichen Molecularmagnete zu einem einzigen Elementarmagnete vereinigt denken. Diese Elementarmagnete würden bei der in Figur 21 angedeuteten Stellung der

Molecularmagnete offenbar ungleich stark ausfallen. Am stärksten magnetisch würden die in der Mitte sein, weil dort alle Molecularmagnete ganz gleich gerichtet sind, etwas schwächer schon würde der die Schichte ss vertretende Elementarmagnet ausfallen, am schwächsten der die äusserste Schichte $s_1 s_1$ vertretende. Es fragt sich nun, ob nicht eine gleiche Entwickelung von Magnetismus in den einzelnen Elementarmagneten als wahrscheinlicher anzunehmen ist. Wir werden gleich sehen, dass diese Annahme unzulässig ist, dass vielmehr die einzelnen, isolirt gedachten Elementarmagnete gegen die Enden schwächer magnetisch angenommen werden müssen.

Es stelle Fig. 22 die Reihe der Elementarmagnete vor. Angenommen, dieselben wären für sich ursprünglich gleich stark magnetisch, so

Fig. 22.



könnten sie es in Folge der Influenzwirkung nicht bleiben. Der Elementarmagnet $s_1 n_1$ ist der Influenz der Südpole s_2, s_3, s_4, s_5 etc. ausgesetzt, welche seinen Magnetismus verstärken, ferner der Influenz der Nordpole n_2, n_3, n_4, n_5 etc., welche ihn schwächen. Da aber die Südpole sämmtlich näher liegen als die gleich nummerirten Nordpole, so überwiegt die verstärkende Wirkung der Influenz. Derselben Wirkung und überdies noch der Influenzwirkung des Elementarmagnets $s_1 n_1$ ist der zweite Elementarmagnet $s_2 n_2$ ausgesetzt. Er muss daher stärker magnetisch werden als $s_1 n_1$. Ebenso muss $s_3 n_3$ stärker werden als $s_2 n_2$ und so findet man leicht, dass gegen die Mitte hin von beiden Seiten her die Elementarmagnete stärker magnetisch werden müssen. Ob diese stärkere Magnetisirung auf einer stärkeren Drehung und vollkommneren Gleichrichtung der Molecularmagnete, wie in Fig. 21 angenommen ist, oder auf der gleich grossen Drehung zahlreicherer Molecularmagnete beruht, bleibt noch unentschieden. Für die Richtigkeit der Ansicht, dass der Magnetismus in den Theilchen in der Mitte des Stabes stärker entwickelt ist, als an den Enden, spricht die Thatsache, dass wenn man eine Reihe von Stahlstäbchen hinter einander legt, so dass sie gewissermaassen einen grösseren Stab zusammensetzen, und sie dann so behandelt, als wenn man den ganzen Stab magnetisiren wollte, dass alsdann nach dem Auseinandernehmen die Stäbchen um so stärkeren Magnetismus zeigen, je näher sie während des Streichens der Mitte lagen. Ganz anders verhält es sich mit dem freien Magnetismus, also auch mit der Wirkung des Magnetstabes nach Aussen an verschiedenen Theilen desselben.

Der freie Magnetismus ist nämlich durch die Differenz der Magnetismen der an einander gränzenden entgegengesetzten Pole der Elementarmagnete gegeben, oder, falls wir nördlichen Magnetismus mit positivem, südlichen mit negativem Zeichen bezeichnen, durch die algebraische Summe der Magnetismen der an einander stossenden Pole. Da nun der Magnetismus von s_2 stärker ist, als der entgegengesetzte von n_1, ebenso der von s_3 stärker als der von n_2 etc., so muss auf dieser Hälfte des Stabes überall freier südlicher Magnetismus vorhanden sein. Ebenso findet man dann, dass die andere Hälfte freien nördlichen Magnetismus besitzen muss. Die Zunahme des freien Magnetismus erklärt sich dann durch die Annahme, dass die Differenzen der Magnetismen benachbarter Elementarmagnete gegen die Enden zunehmen.

Die Fernwirkung müsste übrigens auch dann gegen die Pole hin zunehmen, wenn die Elementarmagnete alle gleich stark wären. Ein Eisentheilchen in A, Fig. 22, erleidet nämlich keine Anziehung, da die gleich starken, entgegengesetzten Influenzen sich gerade aufheben. Ein Eisentheilchen in B würde von den Elementarmagneten $s_1\, n_1$ bis incl. $s_9\, n_9$ nicht angezogen, weil sich ebenfalls die entgegengesetzten Magnetismen aufheben. Es bliebe demnach die Wirkung der übrigen Elementarmagnete übrig, welche sämmtlich den Südpol zukehren. Es muss also die Anziehung der Südpole überwiegen. Dasselbe würde in Bezug auf ein Eisentheilchen in C stattfinden.

Die Erfahrung bestätigt unsere Schlüsse. Schon beim Eintauchen in Eisenfeilspäne haben wir gesehen, dass die Anziehung an den Enden eines Stabes am grössten und dass sie in seiner Mitte gleich Null ist.

Das Gesetz, nach welchem die Stärke der magnetischen Wirkung von den Enden eines magnetischen Stabes nach seiner Mitte hin abnimmt, hat Coulomb durch eine Reihe sorgfältiger Versuche ermittelt. Er hing eine kleine 12 mm lange und 6 mm dicke Probirnadel von wohl gehärtetem Stahl an einem einfachen Seidenfaden auf und liess sie zuerst nur unter dem Einfluss des Erdmagnetismus oscilliren; er näherte alsdann den zu untersuchenden vertical gehaltenen Stab der Nadel in der durch Fig. 23 (a. f. S.) dargestellten Weise so, dass er sich im magnetischen Meridian der Nadel befand. Während der Abstand des Stabes von dem nächsten Pole der Nadel 17 mm betrug, wenn er den Südpol des Stabes dem Nordpole der Nadel näherte, so wurden die Oscillationen beschleunigt, allein die Beschleunigung der Nadel war ungleich, je nachdem verschiedene Stellen des Stabes der Nadel gegenüber standen, die Schwingungen wurden nämlich um so langsamer, je mehr die der Nadel gegenüber gehaltenen Stellen sich der Mitte des Magnetstabes näherten. Wenn die Nadel der Mitte des Stabes gegenüber stand, oscillirte sie gerade so schnell, als ob der Stab gar nicht da wäre. Aus der für jede Stelle des Stabes beobachteten Schwingungsdauer konnte man auf die Stärke ihrer

magnetischen Anziehung auf dieselbe Weise schliessen, die wir schon oben kennen gelernt haben.

Die Resultate seiner, mit einem cylindrischen Stabe von 4 mm Durchmesser angestellten Beobachtungen lassen sich, wie Fig. 24 geschehen ist,

Fig. 23.

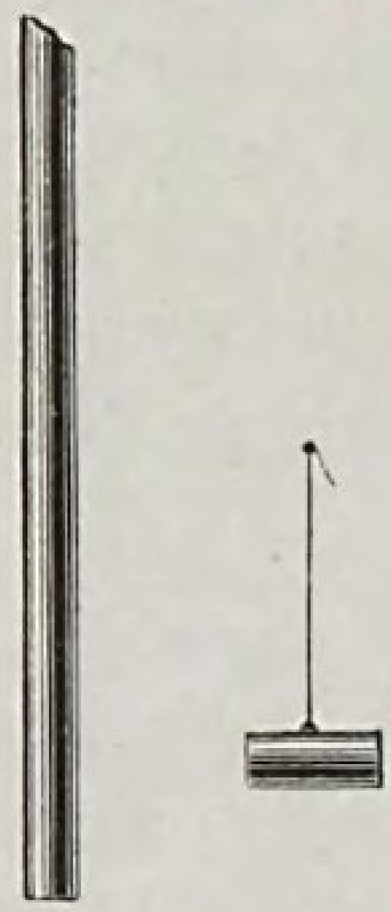
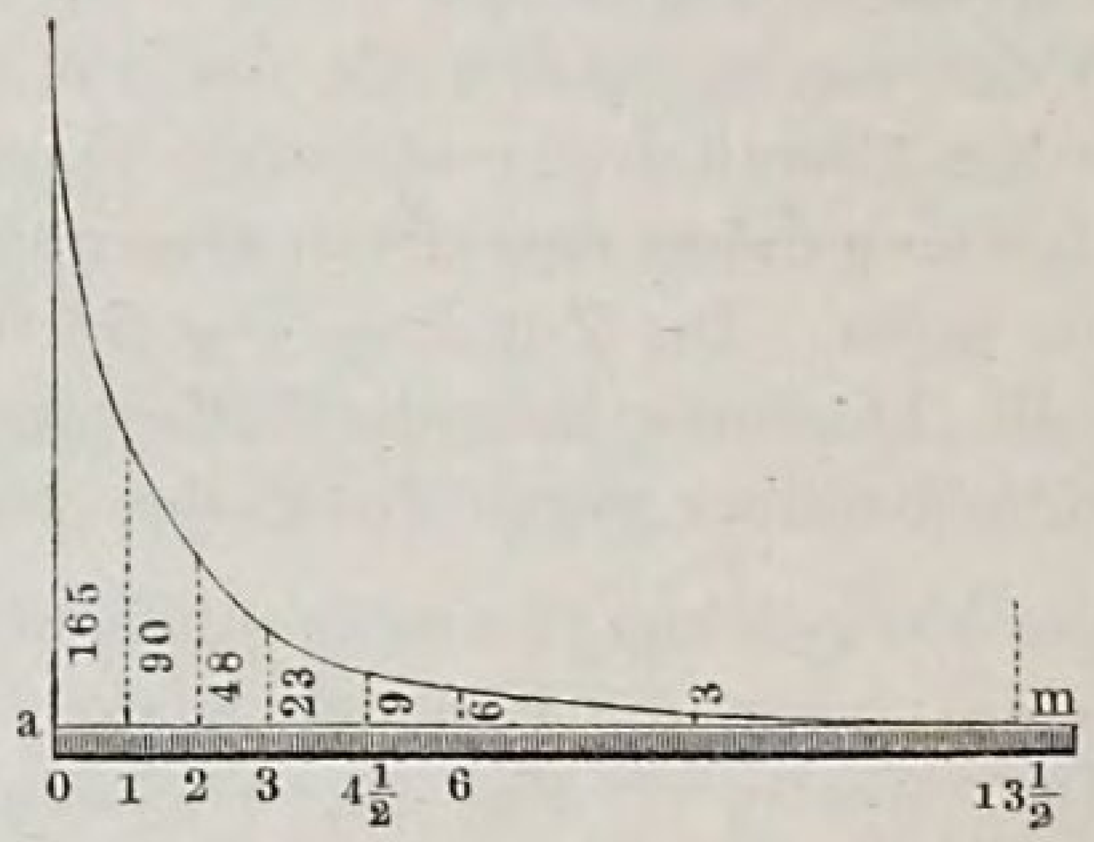


Fig. 24.



graphisch darstellen. Es stellt am die eine Hälfte des Magnetstabes dar, m ist seine Mitte, a das eine Ende, von welchem aus die Abscissen nach Centimetern gemessen sind. Die an verschiedenen Stellen errichteten Ordinaten sind der an dieser Stelle beobachteten magnetischen Intensität proportional nach einer beliebigen Einheit aufgetragen. Man sieht, dass am Ende a die Intensität am grössten ist, dass sie von a gegen die Mitte hin anfangs sehr rasch abnimmt und in der Mitte Null wird. Die Curve hat für alle Stäbe, deren Länge mehr als 25 cm beträgt, sehr nahe dieselbe Gestalt, so dass in der Mitte ein mehr oder weniger grosser Raum sich befindet, für welchen die Intensität so gut wie Null ist. Biot hat für diese Intensitätscurve die empirische Gleichung

$$y = A\,(m^x - m^{2l-x})$$

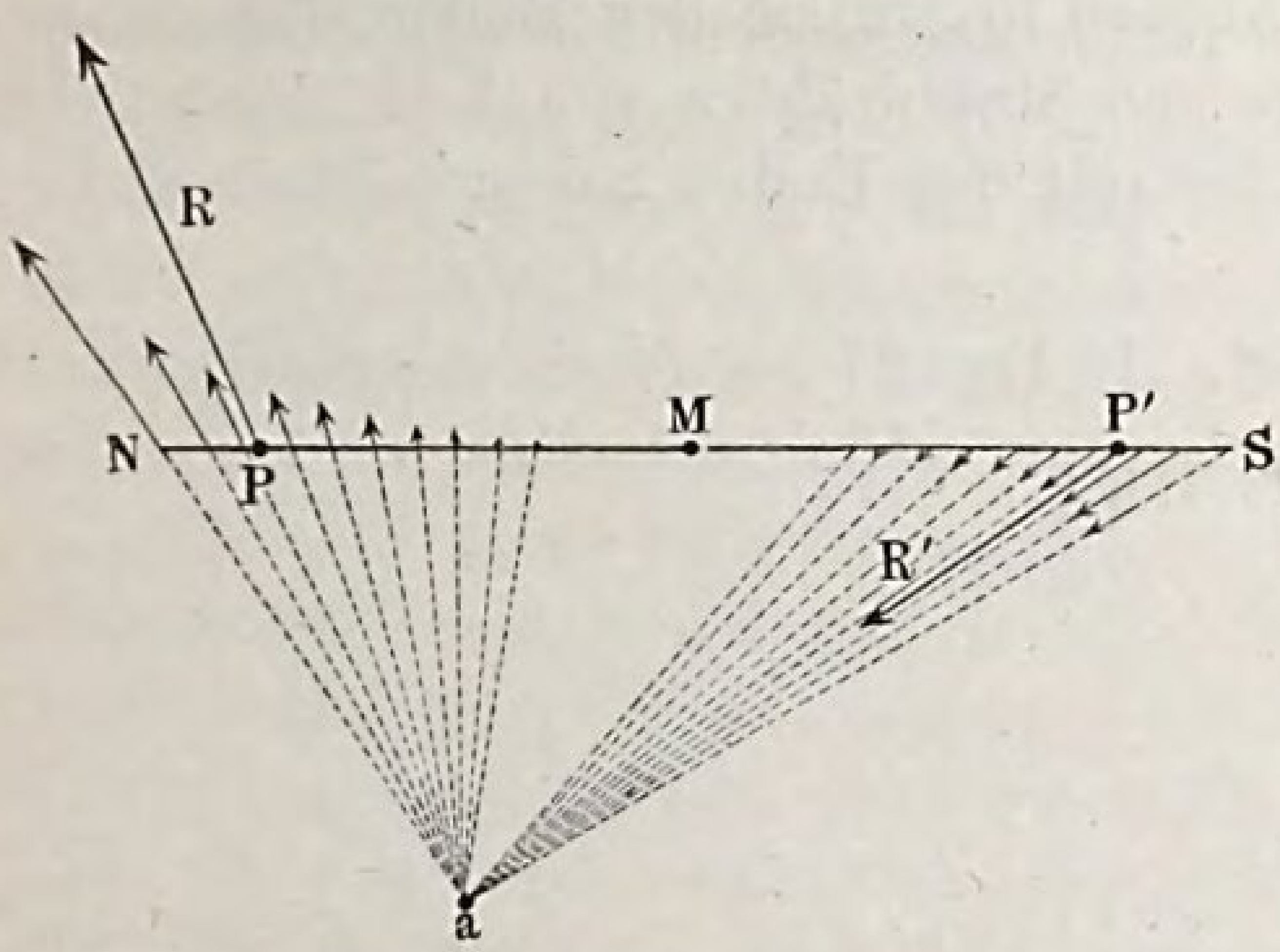
aufgestellt, in welcher $2l$ die Länge des Stabes bezeichnet, während A und m Constante sind. Die Abscissen x werden von dem einen Ende des Stabes in der Richtung gegen das andere Ende hin gezählt.

10 **Lage der magnetischen Pole.** Wir haben in §. 2 eine Definition der Pole eines Magneten angedeutet; wir sind jetzt in der Lage, dieselbe schärfer zu fassen und deren Lage auszumitteln.

Es sei NS, Fig. 25, ein geradliniger, gleichförmig magnetisirter Stahlstab und a irgend ein ausserhalb des Stabes liegendes, etwa nordmagnetisches Partikelchen, so wirkt dasselbe abstossend auf alle Molecüle der einen Hälfte MN des Magnetstabes, anziehend aber auf alle Molecüle der anderen Hälfte MS desselben, und zwar ist die anziehende oder abstossende Kraft, mit welcher a auf irgend ein Molecül des Stahlstabes wirkt, dem freien Magnetismus dieser Stelle proportional, wie dies in unserer Figur durch die Pfeilchen angedeutet sein soll.

Alle abstossenden Kräfte, mit welchen a auf die einzelnen Molecüle der nordmagnetischen Stabhälfte wirkt, kann man sich zu einer Resultirenden R vereinigt denken, während wir mit R' die Resultirende aller elementaren Anziehungskräfte bezeichnen wollen, mit welchen a auf die Molecüle der südmagnetischen Stabhälfte wirkt.

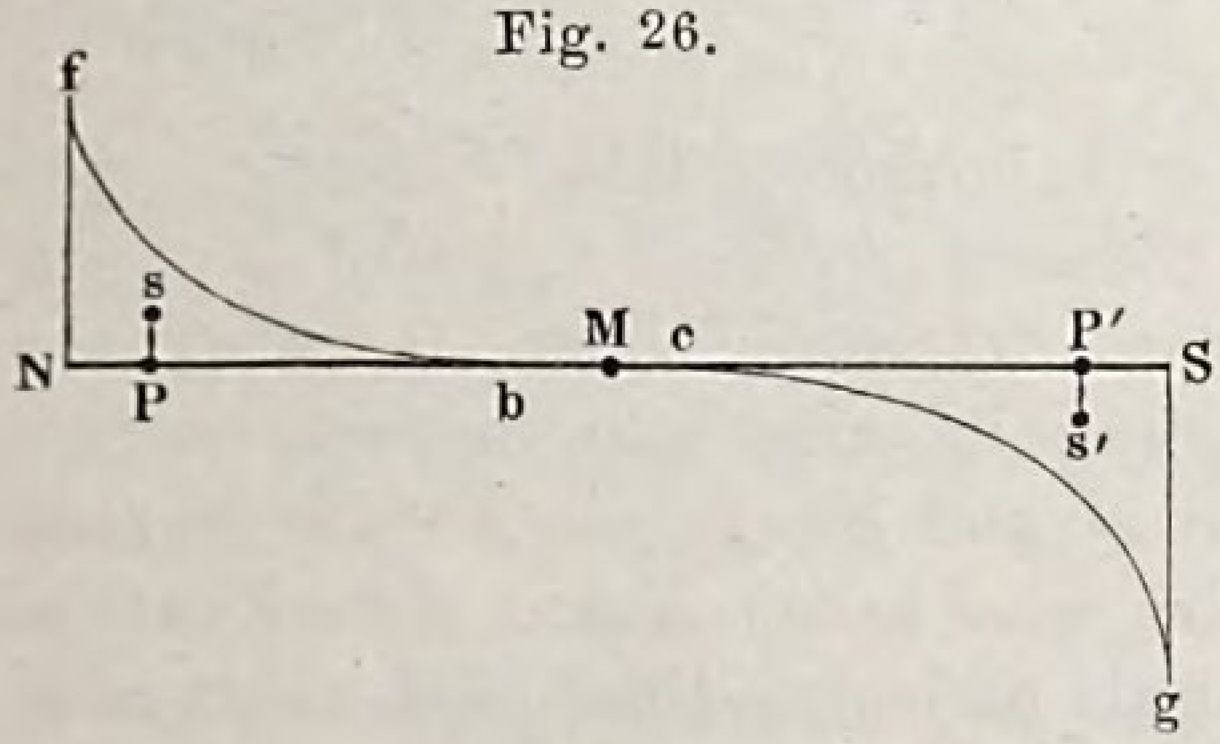
Fig. 25.



Die Lage der Angriffspunkte P und P' dieser beiden Resultirenden ändert sich im Allgemeinen, wenn auch nicht bedeutend, mit der Lage des Punktes a; für alle Punkte aber, welche so weit von dem Magnetstab wegliegen, dass man die von ihnen aus nach den Endpunkten N und S gezogenen Geraden ohne merklichen Fehler als parallel betrachten kann, ist die Lage dieser Angriffspunkte unabänderlich dieselbe.

Mit dem Namen der Pole des Magnetstabes bezeichnet man nun die Angriffspunkte der Resultirenden einerseits aller anziehenden und andererseits aller abstossenden Kräfte, mit welchen ein sehr weit vom Magnetstab entfernt liegendes magnetisches Partikelchen auf die einzelnen Molecüle des Magnetstabes wirkt.

Fig. 26.



Die Lage der so definirten magnetischen Pole ergiebt sich mit Hülfe der im vorigen Paragraphen besprochenen Intensitätscurve. Um die Lage der Pole zu finden, hat man nämlich nur die Schwerpunkte s und s' der Flächenstücke bfN und cSg zu bestimmen, welche einerseits durch den Magnetstab, andererseits durch die Intensitätscurve begränzt sind, und von diesen Schwerpunkten Perpendikel auf NS zu fällen. Die Fusspunkte P und P' dieser Perpendikel sind die gesuchten Pole des Magnetstabes.

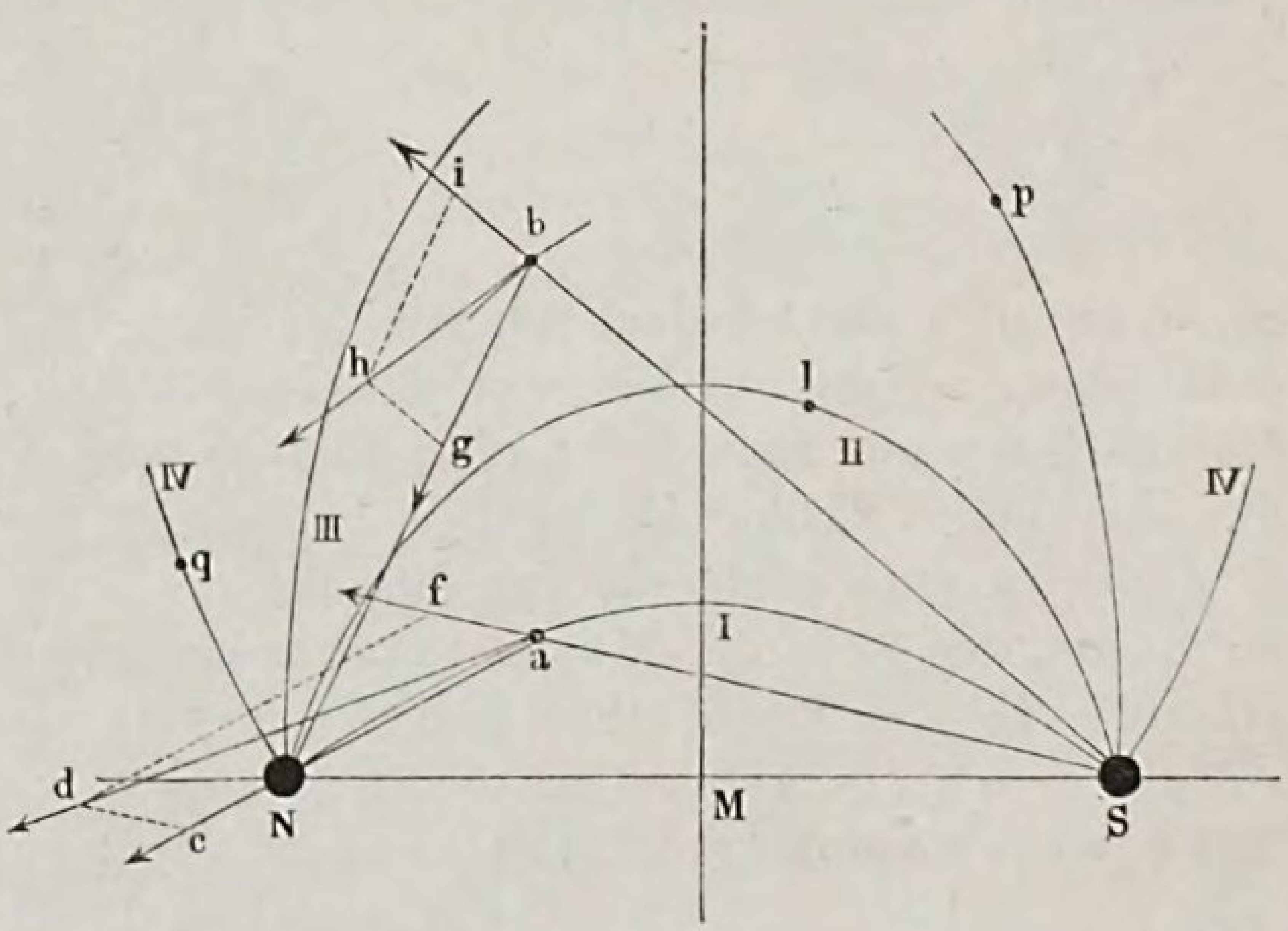
Für Stäbe, welche über 25 cm lang und 4 bis 5 mm dick sind, hat Coulomb durch Rechnung gefunden, dass die Pole ungefähr 4 cm weit von den Enden entfernt liegen. Bei kürzeren Magnetstäben beträgt die Entfernung der Pole von den Enden ungefähr $\frac{1}{3}$ der halben Länge. Bei

einem 9 cm langen Stabe werden also die Pole etwas mehr als 18 mm von den Enden entfernt sein.

Bei Stäben, deren Dicke 5 mm übersteigt, rücken die Pole mehr gegen die Mitte hin, für dünnere liegen sie den Enden näher, so dass sie in ganz dünnen magnetischen Stahldrähten von 1 bis 1·5 mm Durchmesser ohne merklichen Fehler mit den Enden zusammenfallen.

11 **Magnetische Curven.** In Fig. 27 sei *N* ein magnetischer Nordpol, *S* ein gleich stark magnetischer Südpol; dieselben werden auf irgend

Fig. 27.



ein magnetisches Partikelchen *a* entgegengesetzte Wirkung ausüben. Ist z. B. *a* ein südmagnetisches Element, so wird es von *S* abgestossen, von *N* aber angezogen, die Grösse der anziehenden und abstossenden Kräfte, welche auf *a* wirken, steht im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats seiner Entfernung von *N* und *S*. In unserer Figur z. B. ist *aN* halb so gross als *aS*, folglich wird *a* von *N* mit einer Kraft angezogen, welche 4 mal so gross ist als diejenige Kraft, mit welcher *a* von *S* abgestossen wird. Macht man $ac = 4\ af$, so stellt die Diagonale *ad* des Parallelogramms *afdc* der Grösse und der Richtung nach die Resultirende der beiden magnetischen Kräfte dar, welche auf *a* wirken.

In gleicher Weise ist in unserer Figur die Resultirende der beiden magnetischen Kräfte construirt, welche auf ein südmagnetisches Partikelchen in *b* wirken.

Jede Curve nun, welche die beiden magnetischen Pole *N* und *S* verbindet und einen solchen Verlauf hat, dass die in irgend einem Punkt der Curve an dieselbe gelegte Tangente der Richtung nach zusammenfällt mit der Resultirenden der beiden magnetischen Kräfte, mit welchen die beiden Pole auf ein in diesem Punkt befindliches magnetisches Element wirken, wird eine magnetische Curve oder Magnetkraft-

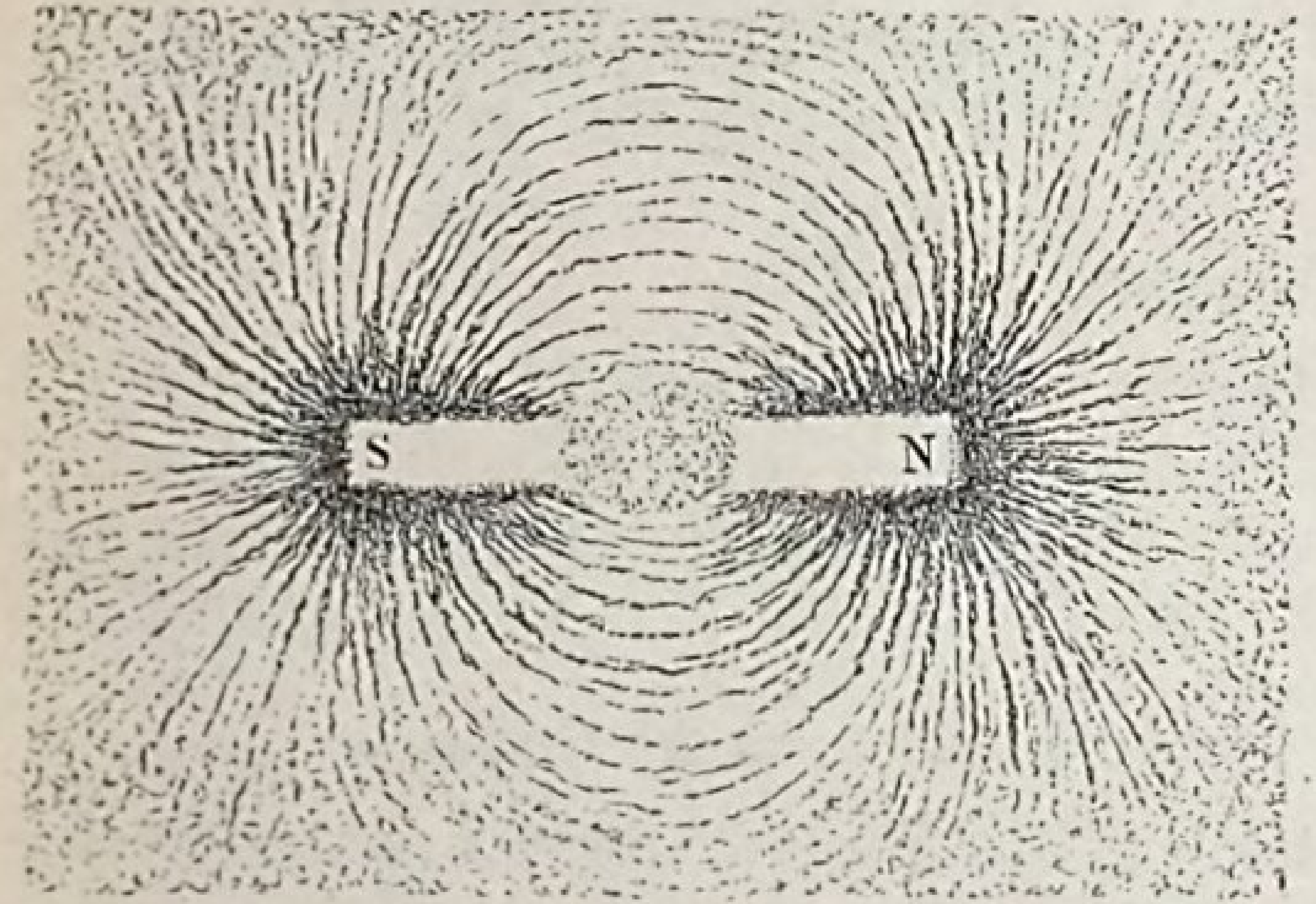
Linie genannt. So fällt z. B. die in *a* an die Curve I, Fig. 27, gelegte Tangente mit der oben besprochenen Resultirenden *ad* zusammen.

Auch die gerade Linie, welche die beiden Pole *N* und *S* verbindet, ist eine magnetische Curve. Ausser dieser zeigt Fig. 27 noch den vollständigen Verlauf von zwei anderen magnetischen Curven I und II und Bruchstücke von zwei weiteren, III und IV.

Denkt man sich in irgend einem Punkt *a* oder *l* oder *p* etc., welcher in der Wirkungssphäre der magnetischen Pole *N* und *S* liegt, eine nach jeder Richtung frei um ihren Schwerpunkt drehbare Magnetnadel angebracht, deren Länge sehr klein ist im Vergleich zum Abstand *NS*, so wird die Richtung der kleinen Nadel mit der Richtung der durch den Schwerpunkt der Nadel gelegten magnetischen Curve zusammenfallen.

Würde der Schwerpunkt der kleinen Magnetnadel von *a* oder von *l* oder von *p* aus stets in der Richtung fortgeführt, nach welcher sie zeigt, so würde sich die Richtung der Nadel allmälig ändern und der Schwerpunkt der Nadel würde eine magnetische Curve beschreiben.

Fig. 28.



Wenn man einen stark magnetisirten Stahlstab *NS*, Fig. 28, horizontal auf einen Tisch und auf den Magnetstab ein Blatt Kartenpapier legt, so zeichnet sich die Lage des Magnetstabes auf dem Kartenpapier nicht allein deutlich ab, wenn man Eisenfeile auf dasselbe siebt, sondern die Eisentheilchen ordnen sich auch zu zusammenhängenden Fäden, welche den Verlauf der den Magnetpolen *N* und *S* entsprechenden magnetischen Curven andeuten.

Der Sättigungspunkt. Für jeden Stahlstab giebt es eine Gränze, 12
über welche hinaus man denselben nicht bleibend magnetisiren kann, und dieses Maximum des bleibenden Magnetismus wird der Sättigungspunkt genannt.

Durch kräftige Magnetisirungsmittel kann man zwar einen Stahlstab weit über den Sättigungspunkt hinaus magnetisiren, der Ueberschuss des Magnetismus verliert sich aber allmälig wieder, wenn die magnetisirende Kraft zu wirken aufhört und der Stab sich selbst überlassen bleibt.

Der Sättigungspunkt eines Stahlstabes ist durch seine Coërcitivkraft, also durch seinen Härtungsgrad bedingt.

Je weicher der Stahlstab, desto niedriger liegt sein Sättigungspunkt, d. h. desto schwächer ist der Magnetismus, welchen er zurückzuhalten vermag.

Häcker in Nürnberg, welchem es gelungen ist, äusserst kräftige Magnetstäbe herzustellen, hat zahlreiche Versuche über die Schwingungsdauer von Stäben angestellt, welche bis zu ihrem Sättigungspunkte magnetisirt sind, und gefunden, dass sie sich nach der empirischen Formel

$$T = c\sqrt[3]{P}\,\sqrt[6]{L}$$

berechnen lässt, in welcher T die Schwingungsdauer in Secunden, P das Gewicht in Lothen, und L die Länge der Magnetstäbe in Zollen, c aber einen constanten Factor bezeichnet, welcher von der Stärke des Magnetismus abhängt. Für die von ihm gemachten Magnetstäbe fand er $c = 2{\cdot}67$. Liegt der Sättigungspunkt tiefer, so wird der Factor c grösser. Bei später gemachten Magnetstäben brachte Häcker den Factor c bis auf 2·35 herunter.

Setzt man 1 Loth = 17·5 g und 1 Zoll = 2·43 cm, so erhält man durch Umrechnung auf metrisches Maass und Gewicht statt des Häcker'schen Coëfficienten $c = 2{\cdot}67$ den Coëfficienten 0·8869, wo nun p in Grammen, l in Centimetern zu messen ist. Für den später bestimmten Werth der Constanten $c = 2{\cdot}35$ erhält man bei der Umrechnung 0·780. Indem wir diesen Werth auf 0·8 abrunden, erhalten wir also für die Schwingungsdauer die Formel

$$T = 0{\cdot}8\sqrt[3]{p}\,\sqrt[6]{l},$$

wo nun p in Grammen, l in Centimetern zu messen ist. Diese Formel giebt uns einen Anhaltspunkt, um die Stärke eines Magnetstabes zu beurtheilen. Für einen Stab von 11·4 cm Länge und 64 g Gewicht berechnet sich

$$T = 0{\cdot}8\,\sqrt[3]{64}\,\sqrt[6]{11{\cdot}4} = 0{\cdot}8\,.\,4\,.\,1{\cdot}5 = 4{\cdot}8 \text{ Secunden.}$$

Würde also ein solcher Magnetstab z. B. 8 Secunden brauchen, so würden wir daraus entnehmen, dass sein Magnetismus noch ziemlich weit von dem von Häcker erreichten Sättigungspunkt entfernt ist.

Man sieht aus obiger Formel, dass die Schwingungsdauer von Magnetstäben, welche bis zum Sättigungspunkte magnetisirt sind, bei gleichen Längen noch von der Masse, also vom Durchmesser abhängt. Je dicker sie sind, desto langsamer schwingen sie. — Wäre in einem dicken Stabe in jedem Punkte der Magnetismus eben so stark entwickelt, als in einem dünnen, so müsste die Schwingungsdauer von den Dimensionen des Querschnittes des Stabes unabhängig sein. Da nun aber die dicken Stäbe langsamer schwingen, so folgt, dass in einem dünnen Stahlstabe eine verhältnissmässig weit stärkere Entwickelung des freien Magnetismus möglich ist als in einem dickeren.

Der Grund davon ist sehr leicht zu übersehen. Jeder Stab hat, wenn beide mit gleichnamigen Polen auf einander gelegt werden, ein Bestreben, die Polarität des anderen umzukehren. Eine solche Umkehrung findet nun freilich nicht statt, jeder der beiden Stäbe schwächt aber wenigstens den Magnetismus des anderen.

Wie sich aber hier die beiden Magnetstäbchen gegen einander verhalten, so verhalten sich in einem Magnetstabe zwei neben einander liegende Längsstreifen, es ist also klar, dass man einen Stahlstab von grösserem Querschnitte nicht bis zu derselben Gränze magnetisiren kann, wie einen dünneren.

Einfluss der Wärme auf den Magnetismus. Wir haben 13
schon gesehen, dass ein natürlicher Magnet sowohl wie ein künstlicher seinen Magnetismus vollständig verliert, wenn man ihn bis zum Weissglühen erhitzt; d. h. nach dem Erkalten zeigt er keine magnetische Polarität mehr. Diese Beobachtung ist schon von Gilbert gemacht worden. Dadurch verlieren aber die Körper die Eigenschaft nicht, wieder magnetisch zu werden, wenn man sie durch die bekannten Verfahrungsarten wieder magnetisirt. Ihre Coërcitivkraft ist jedoch geändert; die der natürlichen Magnete nimmt ab, ohne dass man im Stande ist, sie in ihrer ursprünglichen Stärke wieder herzustellen, die der künstlichen Magnete ist sehr geschwächt, lässt sich aber durch neues Härten vollkommen wieder herstellen.

Der Verlust des Magnetismus findet nicht auf einmal, sondern nach und nach statt in dem Maasse als die Temperatur steigt. Um sich davon zu überzeugen, nehme man einen Magnetstab, dessen Stärke man durch die Oscillationsdauer bestimmt; man erhitze ihn nach einander bis zu verschiedenen Wärmegraden und lasse ihn jedesmal wieder erkalten. Hat man ihn z. B. bis 100⁰ erwärmt, so wird er nach dem Erkalten langsamer oscilliren als vorher. Erwärmt man ihn dann bis auf 200⁰, so wird man finden, dass sein Magnetismus wieder abgenommen hat etc.

Die magnetische Kraft eines bei niedriger Temperatur magnetisirten Magnets nimmt bei Erhöhung der Temperatur fortwährend ab. So war z. B. die Magnetkraft eines bei 20⁰ magnetisirten Stabes bei einer Temperatur von 95⁰ nur noch 0·633 von derjenigen, welche er bei 20⁰ zeigte. Bei der Abkühlung des Stabes kam aber ein Theil des verlorenen Magnetismus wieder zum Vorschein, so dass nach dem Erkalten auf 20⁰ seine Magnetkraft wieder auf 0·702 der ursprünglichen gestiegen war.

Kupffer hat bemerkt, dass man einen Magnet längere Zeit einer bestimmten Temperatur aussetzen muss, wenn er allen Magnetismus verlieren soll, den er bei dieser Temperatur überhaupt verlieren kann. Eine Magnetnadel z. B., welche mehrmals nach einander 10 Minuten lang in kochendes Wasser gesteckt wurde, verlor erst nach sechs Eintauchungen ihren Magnetismus, soweit es für diese Temperatur möglich war. Um 200 Schwingungen zu machen, brauchte sie vor dem ersten Eintauchen 578 Secunden, nach dem ersten Eintauchen 637″, nach dem zweiten 642″, nach dem dritten 645″, nach dem vierten 647″, nach dem fünften 650″, nach dem sechsten 652″ und nach dem siebenten Eintauchen endlich wieder 652 Secunden.

Dufour hat die interessante Beobachtung gemacht, dass ein bei höherer Temperatur (nicht bis zum Sättigungspunkt) magnetisirter Stahlstab sowohl bei gesteigerter Erwärmung als auch bei Erkaltung an Magnetkraft abnehme. An einem bei 60° magnetisirten Stahlstabe beobachtete er folgende zusammengehörige Temperaturen und magnetische Intensitäten:

Temperatur	60°	42°	23°	3°
Intensität	1·71	1·63	1·53	1·35

Die Magnetkraft eines bei 2° magnetisirten Stahlstabes nahm, als derselbe durch eine Kältemischung bis — 25° erkaltet wurde, im Verhältniss von 5·1 zu 4·9 ab.

Ein Magnet, bis zu heller Rothglühhitze erwärmt, verliert seinen Magnetismus so vollständig, dass er sich gegen Eisen, gegen einen anderen Magneten ganz indifferent verhält. Ebenso wird auch weiss glühendes Eisen von einem Magnet nicht mehr angezogen. Bei dem Eisen giebt es also eine Temperaturgränze, über welche hinaus es für den Einfluss des Magnetismus unempfänglich ist.

Die Betrachtung dieser magnetischen Gränze führt uns auf den Gedanken, dass es auch für jene wenigen Körper, an denen man ebenfalls schwach magnetische Eigenschaften wahrgenommen hat, eine solche magnetische Gränze geben könne, und in der That hat der Versuch diese Erwartung bestätigt. Es hat sich ergeben:

1. dass für Kobalt diese Gränztemperatur noch weit über der Weissglühhitze liegen müsse, denn in den höchsten Temperaturen, welchen man das Kobalt aussetzte, fand man es noch magnetisch;
2. dass die magnetische Gränze des Chroms etwas unter der Temperatur des Dunkelrothglühens liege;
3. dass die magnetische Gränze des Nickels ungefähr bei 350°, d. h. in der Nähe des Schmelzpunktes des Zinks liegt;
4. dass die magnetische Gränze des Braunsteins 20° bis 25° über Null liegt.

14 **Magnetische Declination.** Wir haben bereits oben gesehen, dass eine Magnetnadel oder ein Magnetstab, welcher so aufgehängt ist, dass sich seine Längenaxe nur in einer horizontalen Ebene um eine verticale Axe drehen kann, immer eine bestimmte Stellung einnimmt, indem die magnetische Axe, die Verbindungslinie der beiden Pole, stets gegen einen bestimmten Punkt des Horizonts hinweist. Wird die Nadel durch irgend eine störende Kraft aus dieser Gleichgewichtslage herausgebracht und dann sich selbst überlassen, so kehrt sie nach einer Reihe von Oscillationen immer wieder in diese Gleichgewichtslage zurück.

Denken wir uns durch die magnetische Axe einer in ihrer Gleichgewichtslage befindlichen horizontalen Magnetnadel eine Verticalebene gelegt, so heisst diese der magnetische Meridian. Der magnetische

Meridian eines Ortes macht nun mit dem astronomischen Meridian einen Winkel, welchen man die Declination oder Missweisung nennt. Die Declination ist östlich oder westlich, je nachdem das Nordende der Nadel östlich oder westlich vom astronomischen Meridian liegt. Stellt z. B. sn, Fig. 29, den Meridian, ab aber die Richtung der horizontalen Magnetnadel dar, so ist die Declination eine westliche. Die westliche Declination beträgt in Deutschland gegenwärtig 12 bis 16°. Wir werden bald sehen, dass die Declination mit der Zeit sich ändert. Es giebt Orte auf der Erde, wo die Richtung der Magnetnadel vollständig mit dem Meridian zusammenfällt; an diesen Orten ist natürlich die Declination gleich Null.

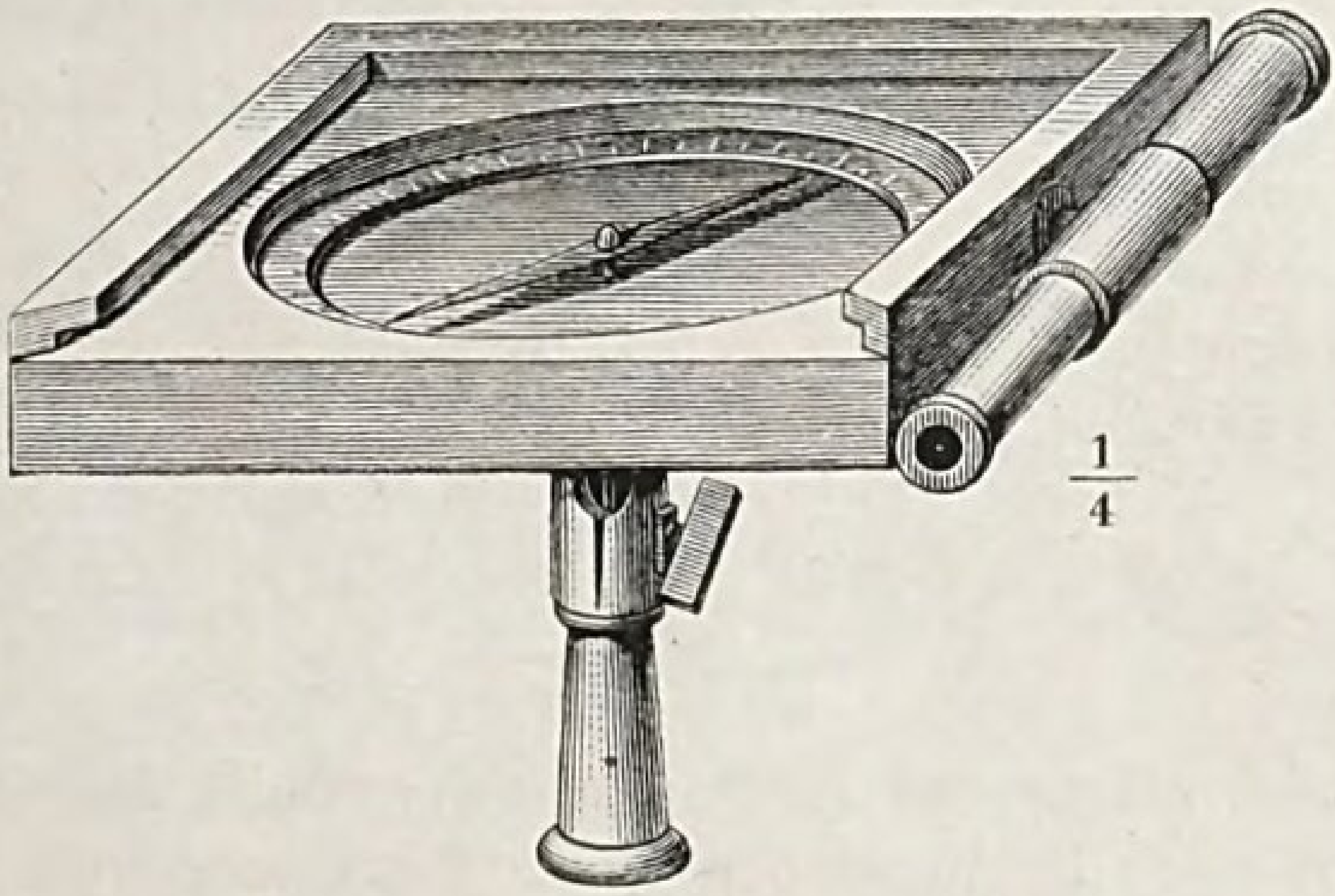
Ein Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu messen, heisst eine Declinationsbussole oder ein Declinatorium.

Fig. 30 stellt eine solche Bussole ziemlich einfacher Art vor. Die Spitze, auf welche die Nadel aufgesetzt ist, bildet den Mittelpunkt eines

Fig. 29.



Fig. 30.



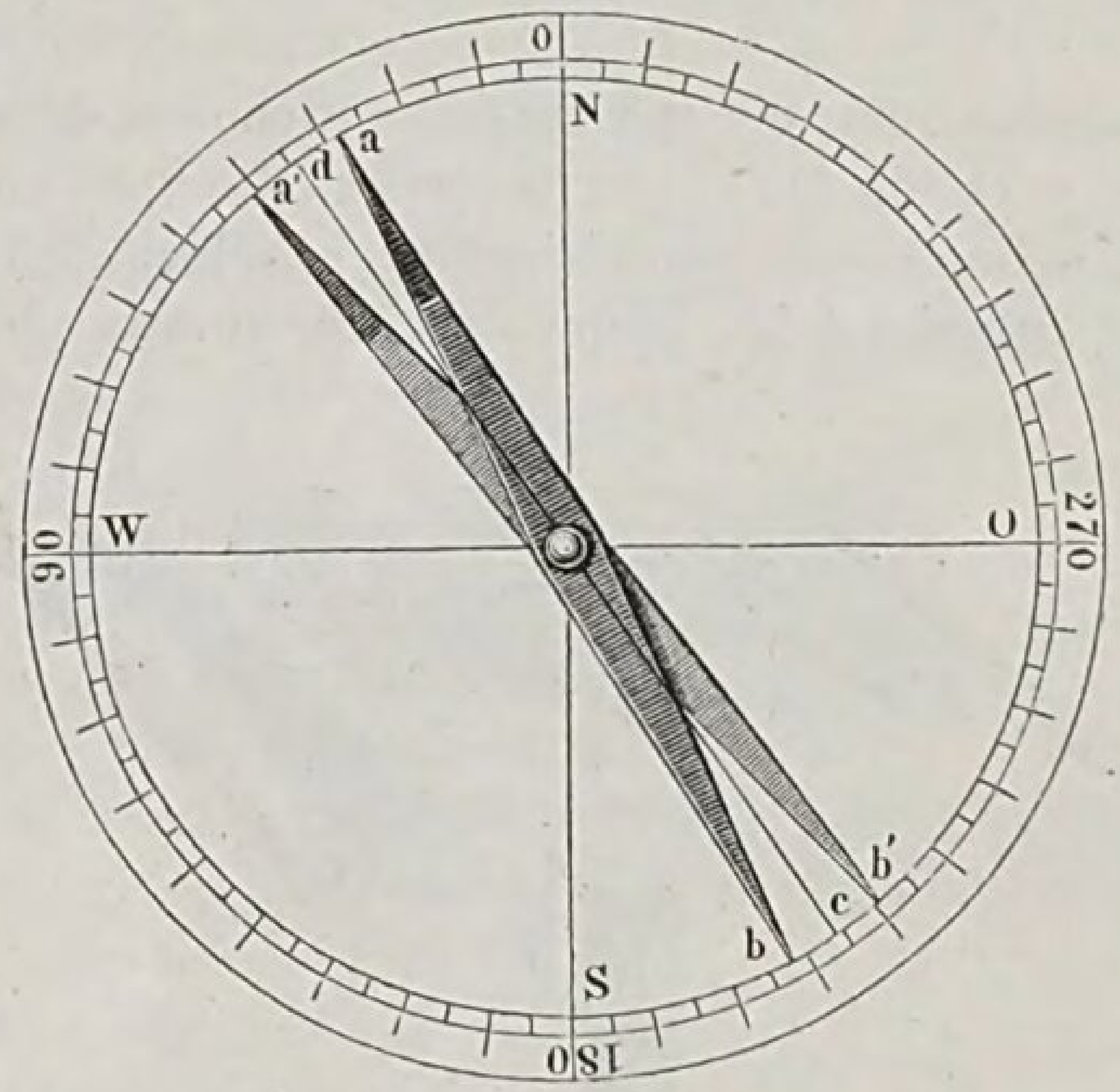
$\frac{1}{4}$

getheilten Horizontalkreises, welcher um eine verticale Axe in seiner eigenen Ebene umgedreht werden kann. An der Seite des Gehäuses ist ein Fernrohr angebracht, dessen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man sich vom Nullpunkte des getheilten Kreises über seinen Mittelpunkt zum Theilstriche 180° gezogen denken kann. Je nachdem man den Horizontalkreis in seiner Ebene umdreht, wird die Spitze der Magnetnadel auf andere Theilstriche zu stehen kommen. Wenn man den Apparat so stellt, dass die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, so ist die Axe des Fernrohrs mit der Nadel parallel, sie fällt mit dem magnetischen Meridian zusammen; bei jeder anderen Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilstrich des Kreises, welcher angiebt, wie viel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohrs (oder vielmehr der Horizontalprojection der Fernrohraxe) macht; wenn man also das Fernrohr genau in den astronomischen Meridian bringt, so kann man auf dem Theilkreise ablesen, welchen Winkel der magnetische Meridian mit dem astronomischen macht.

Dieses Instrument kann nun überhaupt als Winkelmessinstrument dienen, weil man mit Hülfe desselben jederzeit den Winkel bestimmen kann, welchen die Visirlinie des Fernrohrs (oder vielmehr ihre Horizontalprojection) mit dem magnetischen Meridian macht.

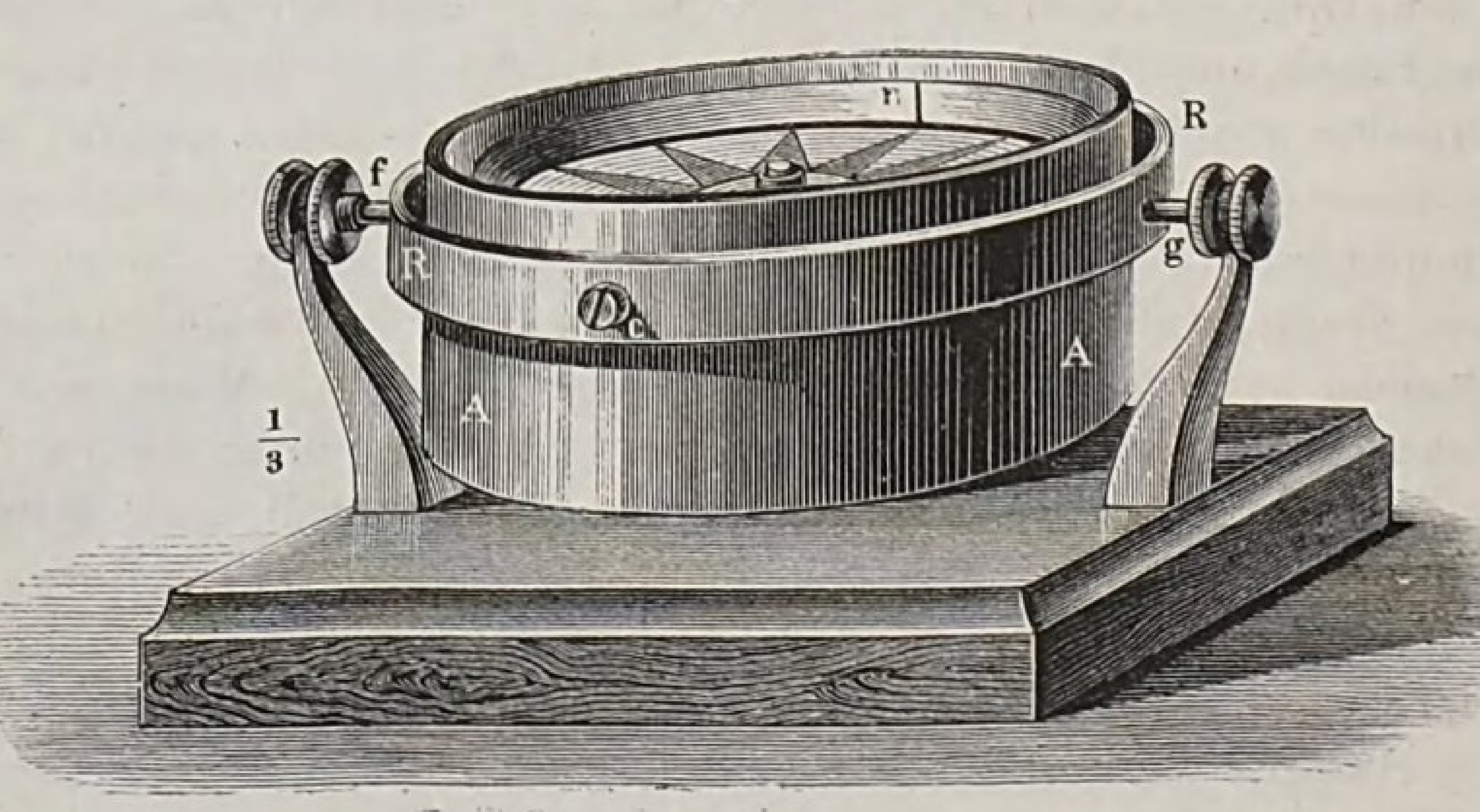
Die Bestimmung der magnetischen Declination mit Hülfe der eben beschriebenen Bussole wird mit einem constanten Fehler behaftet sein, wenn die magnetische Axe der Nadel nicht genau mit der geometrischen, d. h. der Verbindungslinie der beiden Spitzen, zusammenfällt. Dieser Fehler wird nun durch die Methode des Umlegens corrigirt.

Fig. 31.



Zu diesem Zwecke ist die Nadel nicht auf ihrem Hütchen befestigt, sondern nur aufgelegt, so dass man sie abnehmen, umkehren (d. h. die bis dahin nach oben gerichtete Fläche nach unten wenden) und dann wieder auflegen kann. In Fig. 31 stelle z. B. ab die Lage einer horizontalen Magnetnadel dar, deren magnetische Axe in die Linie dc fällt, so ist die Gradzahl, auf welche die Spitze a der Nadel deutet, offenbar kleiner als der gesuchte Declinationswinkel. Legt man aber nun die Nadel in der an-

Fig. 32.



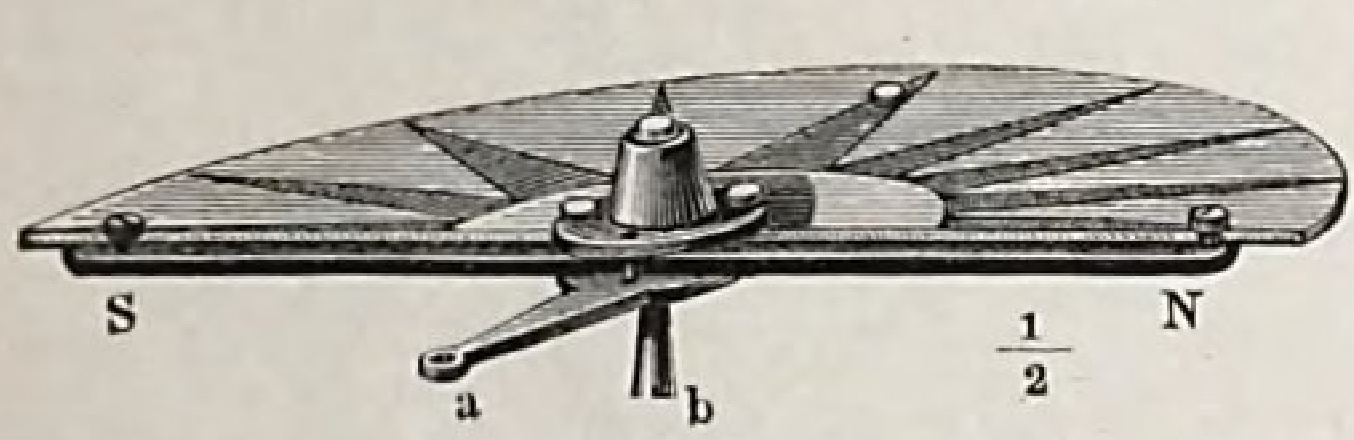
gegebenen Weise um, so nimmt sie jetzt die Lage $a'b'$ an, und es deutet die Spitze a' der Nadel auf eine Gradzahl, welche um eben so viel zu

gross ist, wie sie vorher zu klein war; man erhält also den wahren Werth der Declination, wenn man aus den beiden Ablesungen bei *a* und *a'* das Mittel nimmt.

Die Declinationsbussole, deren sich die Seefahrer bedienen, ist unter dem Namen des Compasses bekannt.

Fig. 32 stellt einen einfachen Seecompass dar, welcher sich von den bisher besprochenen Bussolen dadurch unterscheidet, dass die Theilung am Rande einer aus starkem Papier bestehenden auf der Magnetnadel befestigten, also mit der Magnetnadel drehbaren Scheibe aufgetragen ist. Häufig ist auch die Gradtheilung durch eine sogenannte Windrose ersetzt, wie dies z. B. bei dem in Fig. 32 dargestellten Instrumente der Fall ist. Fig. 33 zeigt, wie die fragliche Scheibe, deren vordere Hälfte der Deutlichkeit halber fehlt, auf dem Magnetstab *SN* befestigt ist. Um die Scheibe besser fest zu halten, wird noch ein leichter Arm von Messing mit dem Magnetstab so verbunden, dass er rechtwinklig auf der Richtung desselben steht, und dann die Scheibe noch auf den Enden dieses Messingarmes (von denen in unserer Figur nur das vordere *a* sichtbar ist) aufgeschraubt.

Fig. 33.



Das Hütchen des Magnetstabes spielt auf der Spitze eines Stahlstiftes *b*, Fig. 33, welcher genau im Centrum des etwas dicken und schweren Bodens der Büchse *A*, Fig. 32, befestigt ist. Damit der Stift *b* trotz der Schwankungen des Schiffes möglichst eine verticale Stellung beibehalte, ist die Büchse *A* mit einer Cardanischen Aufhängung versehen, d. h. sie ist um zwei zu einander rechtwinklige horizontale Axen drehbar. Zunächst hängt die Büchse in zwei diametral einander gegenüberstehenden Zapfen *c* und *d*, von denen in unserer Figur nur der Kopf des vorderen *c* sichtbar ist. Diese beiden Zapfen sind in einem Messingring *R* befestigt, welcher in den Zapfen *f* und *g* hängt, deren Verbindungslinie rechtwinklig zu *cd* steht.

Der Compass ist nun so auf dem Schiff befestigt, dass die Linie *cd*, Fig. 31, mit der Richtung des Kieles parallel steht; ferner ist in der Verticalebene von *cd* an der inneren Wand der Büchse *A* eine Marke *n* angebracht. Wenn also der Kiel des Schiffes im magnetischen Meridian steht, so stellt sich die Magnetnadel dem Kiel parallel und der Nordpunkt der Windrose zeigt gerade auf die Marke *n*; wenn aber der Schiffskiel eine andere Richtung hat, so wird irgend ein anderer Punkt der Windrose auf die Marke *n* zeigen, aus dem man entnehmen kann, welchen Winkel der Schiffskiel mit dem magnetischen Meridian macht.

15 **Magnetische Inclination.** Die Magnetnadeln, welche wir bisher betrachtet haben, sind in einer Weise aufgehängt, dass sie sich nur in einer horizontalen Ebene, also um eine verticale Axe drehen können. Sowohl bei der in Fig. 4 und 5 als auch bei der in Fig. 3 dargestellten Aufhängung ist die nahezu horizontale Stellung dadurch gesichert, dass der Schwerpunkt der Nadel unter dem Aufhängepunkte liegt. Sobald man aber eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte selbst aufhängt, so bleibt sie nicht mehr wagerecht stehen, sondern sie macht einen Winkel mit der Horizontalen, welcher den Namen der Inclination führt.

Der Fig. 34 abgebildete Apparat ist sehr geeignet, die Inclination der Magnetnadel zu zeigen. An einem Rahmen von Messing, welcher an einem Faden aufgehängt ist, befindet sich eine sehr leicht bewegliche

Fig. 34.

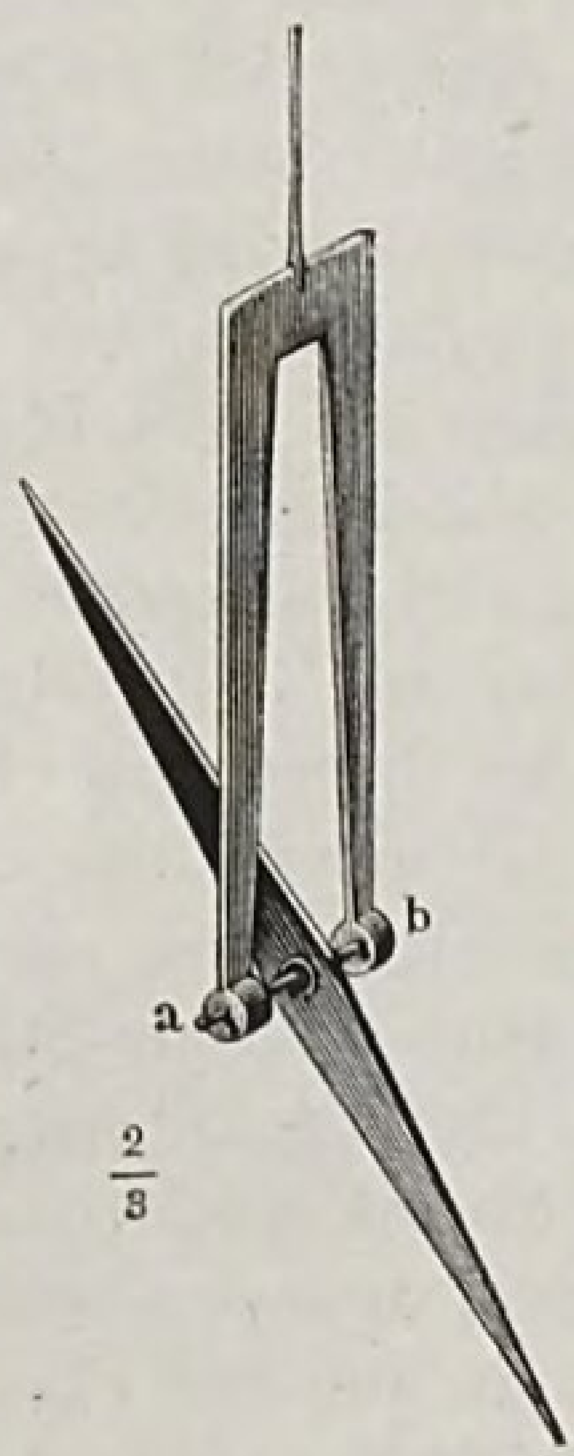
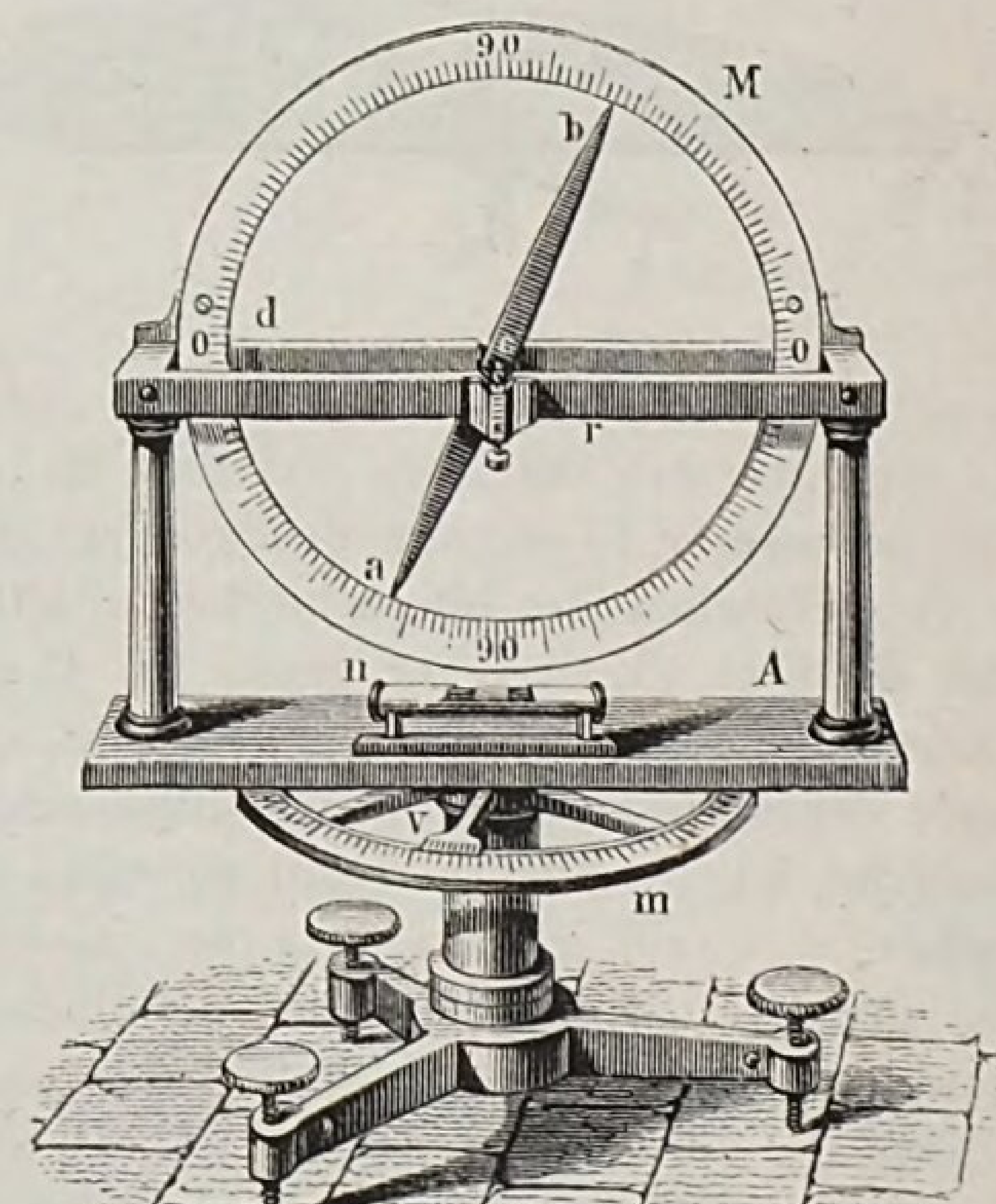


Fig. 35.



horizontale Axe ab, welche durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Man sieht, dass eine so aufgehängte Magnetnadel um eine verticale und um eine horizontale Axe sich drehen und also dem richtenden Einflusse der Erde ganz frei folgen kann. Die Nadel stellt sich nun so, dass ihre Richtungslinie in den magnetischen Meridian fällt; das nach Norden gekehrte Ende der Nadel aber senkt sich, die Richtungslinie der Nadel macht also einen Winkel mit der Horizontalen, der in unseren Gegenden ungefähr 70^0 beträgt.

Wenn die Inclinationsnadel in einem getheilten Verticalkreise angebracht ist, dessen Ebene mit der Umdrehungsebene der Nadel zusammenfällt, wie Fig. 35, so kann man auf diesem Kreise die Grösse der In-

clination ablesen, wenn man dafür sorgt, dass die Ebene des Verticalkreises genau in den magnetischen Meridian fällt.

Solche Apparate, welche dazu dienen, die Inclination zu messen, heissen Inclinatorien oder Inclinationsbussolen.

Auch bei den Inclinationsbussolen muss man, um möglichst genaue Resultate zu erhalten, die Methode des Umlegens in Anwendung bringen, d. h. nachdem man die erste Ablesung gemacht hat, muss man die Nadel von ihrer Unterlage abheben und so wieder aufsetzen, dass die Seite, welche bisher die östliche war, nun die westliche wird, und danach eine zweite Ablesung vornehmen.

Die Grösse der Inclination nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; so beobachtete z. B. Capitän Philipps im Jahre 1773 unter 79° 44′ nördlicher Breite eine Inclination von 82° 9′, und Parry unter 70° 47′ eine Inclination vor 88° 43′. Capitän Ross endlich hat unter 70° 5′ N. B. und 263° 14′ östlich von Greenwich den Punkt der Erde erreicht, wo die Inclination 90° beträgt. Dieser Punkt heisst der magnetische Nordpol. Die Neigung der Magnetnadel ist in hohen Breiten so bedeutend, dass der Compass für die Seefahrer seine Brauchbarkeit verliert, wie es sich bei den letzten Nordpolexpeditionen gezeigt hat.

Je weiter man hingegen von unseren Breiten nach Süden geht, desto mehr nimmt die Inclination ab, und in der Aequatorialzone kommt man zu einem Punkte, wo die Inclination Null ist, wo also die Inclinationsnadel vollkommen wagerecht steht; geht man noch weiter nach Süden, so beobachtet man abermals eine Inclination, aber eine entgegengesetzte; es ist nun das nach Süden gekehrte Ende, welches sich tiefer stellt. Diese Inclination nimmt ebenfalls mit der südlichen Breite zu. In der Nähe des Süpols der Erde giebt es demnach einen zweiten Punkt, an welchem sich die Inclinationsnadel völlig vertical stellt, und dies ist der magnetische Südpol der Erde.

In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialzone passiren mag, so wird man doch immer einen Punkt finden, wo die Inclinationsnadel wagerecht steht. Diese Orte ohne Inclination bilden um die ganze Erde eine Curve, welche man den magnetischen Aequator nennt.

Der magnetische Aequator fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen und bildet auch keinen regelmässigen grössten Kreis der Erdkugel. Näheres über den Verlauf des magnetischen Aequators in der kosmischen Physik von J. Müller.

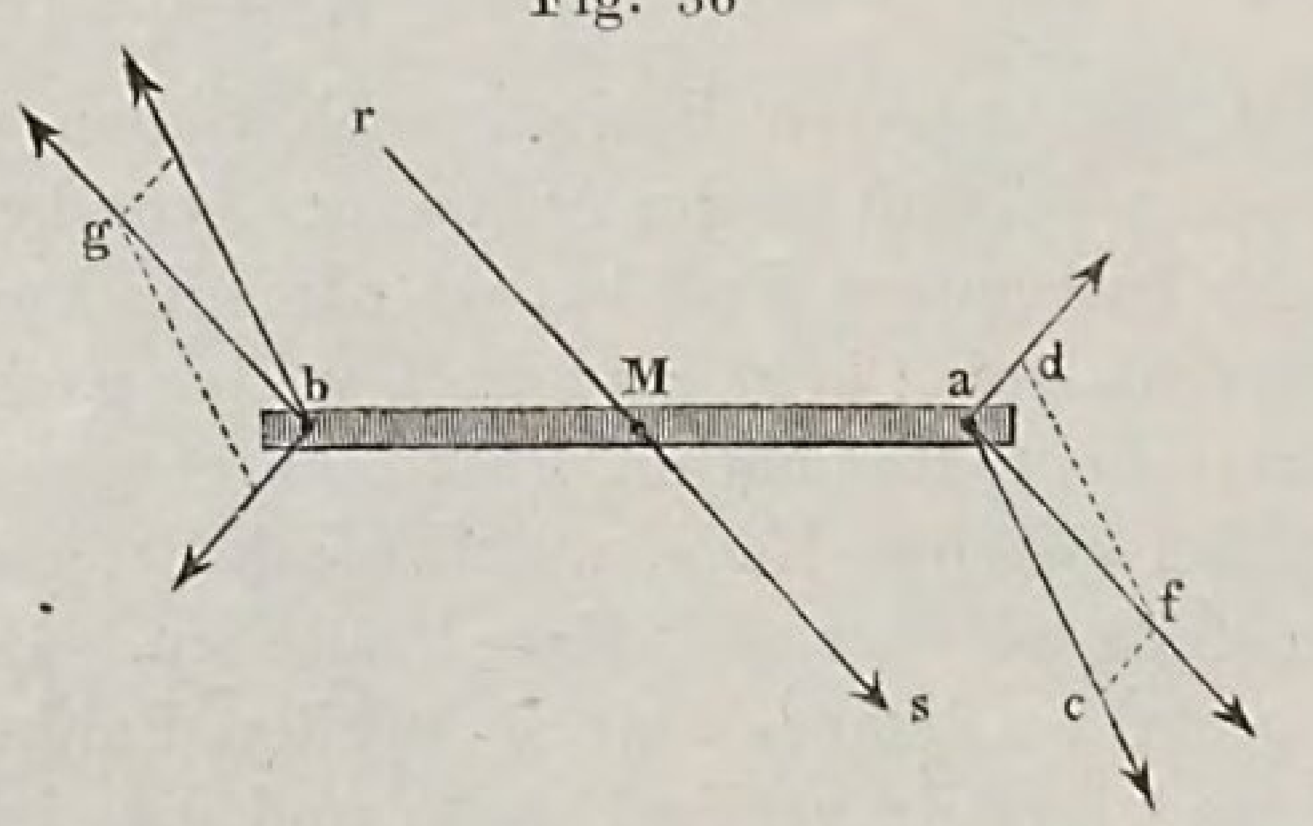
Die Entdeckung der Inclination wird gewöhnlich einem Engländer, Robert Normann, zugeschrieben, der wenigstens im Jahre 1576 ein Inclinatorium construirt hat. Schon 33 Jahre früher aber kannte Georg Hartmann, Vicar zu St. Sebald in Nürnberg, die Inclination der Magnetnadel. Ihm ist auch die Entdeckung des Gesetzes zuzuschreiben, dass gleichnamige Polaritäten sich abstossen, ungleichnamige sich anziehen.

16 **Richtende Kraft des Erdmagnetismus.** Die Totalwirkung, welche die Erde auf eine Magnetnadel ausübt, ist, wie wir bereits im §. 2 bemerkt haben, nur eine richtende, aber keine anziehende, denn wenn letzteres der Fall wäre, so müsste eine Magnetnadel mehr wiegen als vorher, da sie noch nicht magnetisch gemacht worden war. Wenn man eine Magnetnadel auf einen Kork legt, welcher auf Wasser schwimmt, so stellt sie sich in den magnetischen Meridian, sie zeigt aber kein Bestreben, nach Norden zu schwimmen, weil die Entfernung der beiden Pole der Nadel vom magnetischen Nordpol der Erde so nahe gleich ist, dass die anziehende Wirkung desselben auf den einen Nadelpol vollkommen der abstossenden Wirkung auf den andern gleich ist.

Annähernd kann man die magnetischen Wirkungen der Erde durch die Annahme erklären, dass sie in der Verbindungslinie der magnetischen Pole einen Magnet enthalte, oder dass sie selbst ein Magnet sei, welcher im Norden einen magnetischen Südpol, im Süden einen magnetischen Nordpol besitzt.

Welches auch die Lage der magnetischen Pole der Erde (der Mittelpunkt der magnetischen Kräfte) sein mag, so üben doch beide einen Einfluss auf die beiden Pole des Magnets aus. Es sei ab, Fig. 36, eine Magnetnadel, a der eine, b der andere Pol derselben. Der Nordpol der Erde wirkt anziehend auf den Pol a in einer Richtung, die wir nicht ermitteln können, die wir aber durch die Linie ac darstellen wollen. Auf denselben Pol a der Nadel wirkt aber der Südpol der Erde abstossend in der Richtung ad (die auch nicht ermittelt werden kann). Weil wir nun in unseren Gegenden dem Nordpol der Erde näher sind als dem Südpol, so ist die Anziehung stärker als die Abstossung; die beiden Kräfte verbinden sich nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte zu einer Resultirenden af. Auf den Pol b der Nadel wirkt nun der Nordpol der Erde abstossend, und zwar in derselben Richtung und mit derselben Stärke, wie er den Pol a anzieht; der Südpol der Erde zieht aber den Pol b in derselben Richtung und mit derselben Stärke an, wie er den andern abstösst. Die beiden Kräfte, welche den Pol b angreifen, sind also den beiden in a angreifenden Kräften parallel, gleich und entgegengesetzt, mithin müssen auch die Resultirenden bg und af parallel, gleich und entgegengesetzt sein. Wenn aber die um ihren Schwerpunkt M frei drehbare Nadel in ihren Polen von zwei gleichen, parallelen und entgegengesetzten Kräften angegriffen wird, so werden sie nur eine Dre-

Fig. 36



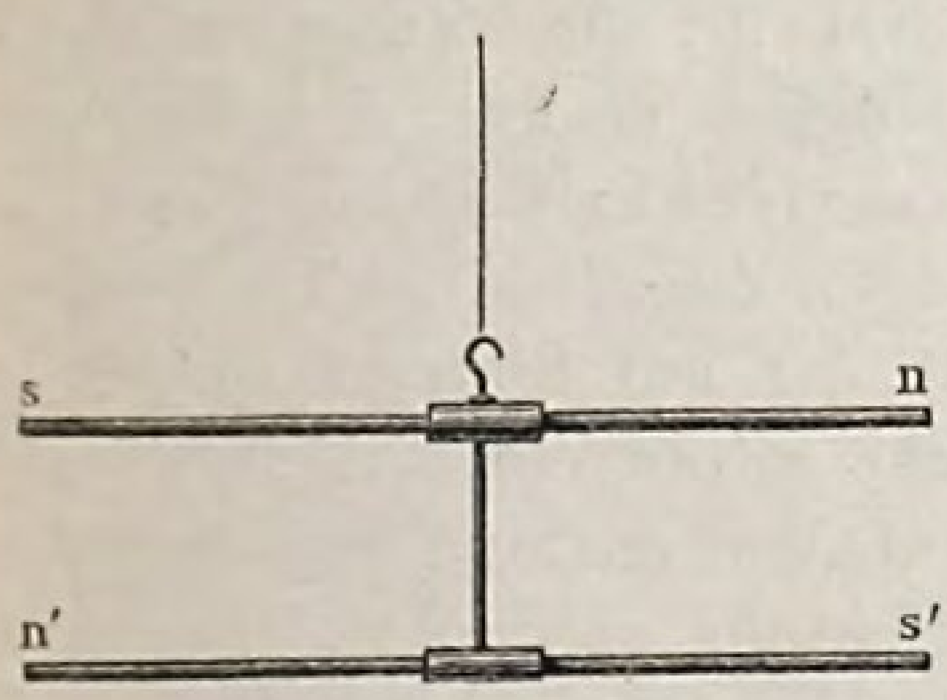
hung der Nadel um ihren Schwerpunkt bewirken können; sie werden dieselbe in die Richtung *rs* bringen, welche mit der Richtung der Resultirenden *af* und *bg* parallel ist.

Diese Gleichgewichtslage beobachteten wir nun an der Inclinationsnadel; die Richtung der Inclinationsnadel fällt mit der Resultirenden der auf die Nadel wirkenden magnetischen Kräfte der Erde zusammen.

Bei der Declinationsnadel ist ein Theil der Wirkung der magnetischen Erdkräfte durch die Art, wie die Nadel aufgehängt ist, aufgehoben, bei derselben kommt nur die horizontale Componente der die Nadel richtenden magnetischen Erdkraft zur Wirkung, und diese horizontale Componente wird natürlicher Weise um so geringer sein, jemehr die Inclination wächst. Je weiter man sich also vom magnetischen Aequator entfernt, um so geringer ist die Kraft, welche die Declinationsnadel richtet.

Astatische Nadeln. Für mancherlei Versuche, namentlich 17
wenn es sich darum handelt, schwache galvanische Ströme nachzuweisen, ist es von Wichtigkeit, Magnetnadeln zu haben, welche, selbst stark magnetisch, nur durch eine geringe Kraft in dem magnetischen Meridian zurückgehalten werden. Gewöhnlich erreicht man diesen Zweck dadurch, dass man statt einer einzigen Magnetnadel ein sogenanntes astatisches Nadelpaar in Anwendung bringt, wie ein solches Fig. 37 dargestellt ist. Es sind hier zwei Magnetnadeln so mit einander verbunden, dass sie einander parallel sind, dass aber der Nordpol der einen nach derselben Seite gerichtet ist, nach welcher der Südpol der anderen schaut. Bei einem solchen Systeme ist die richtende Kraft des Erdmagnetismus ausserordentlich gering, denn sie ist nur die Differenz der Kräfte, mit welchen der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten strebt. Wäre das magnetische Moment der beiden Nadeln vollkommen gleich, so würde die richtende Kraft, welche die Erde auf ein solches System ausübt, gleich Null sein.

Fig. 37.



Man hat verschiedene Methoden angewendet, um die beiden Nadeln in der erwähnten gegenseitigen Lage mit einander zu verbinden. Eine der einfachsten und zweckmässigsten Vorrichtungen ist die in unserer Figur dargestellte. Die Nadeln sind in zwei Hülsen eingeschoben, welche aus dünnem Charnierdraht von Silber gemacht und durch ein Stäbchen von Silberdraht verbunden sind.

Statt eine Nadel auf die eben erwähnte Weise durch Combination mit einer zweiten nahezu gleich starken astatisch zu machen, kann man diesen Zweck auch dadurch erreichen, dass man in den magnetischen

Meridian einer einfachen Magnetnadel einen Magnetstab legt, wie Fig. 38 darstellt, welcher die Wirkung des Erdmagnetismus nahezu neutralisirt.

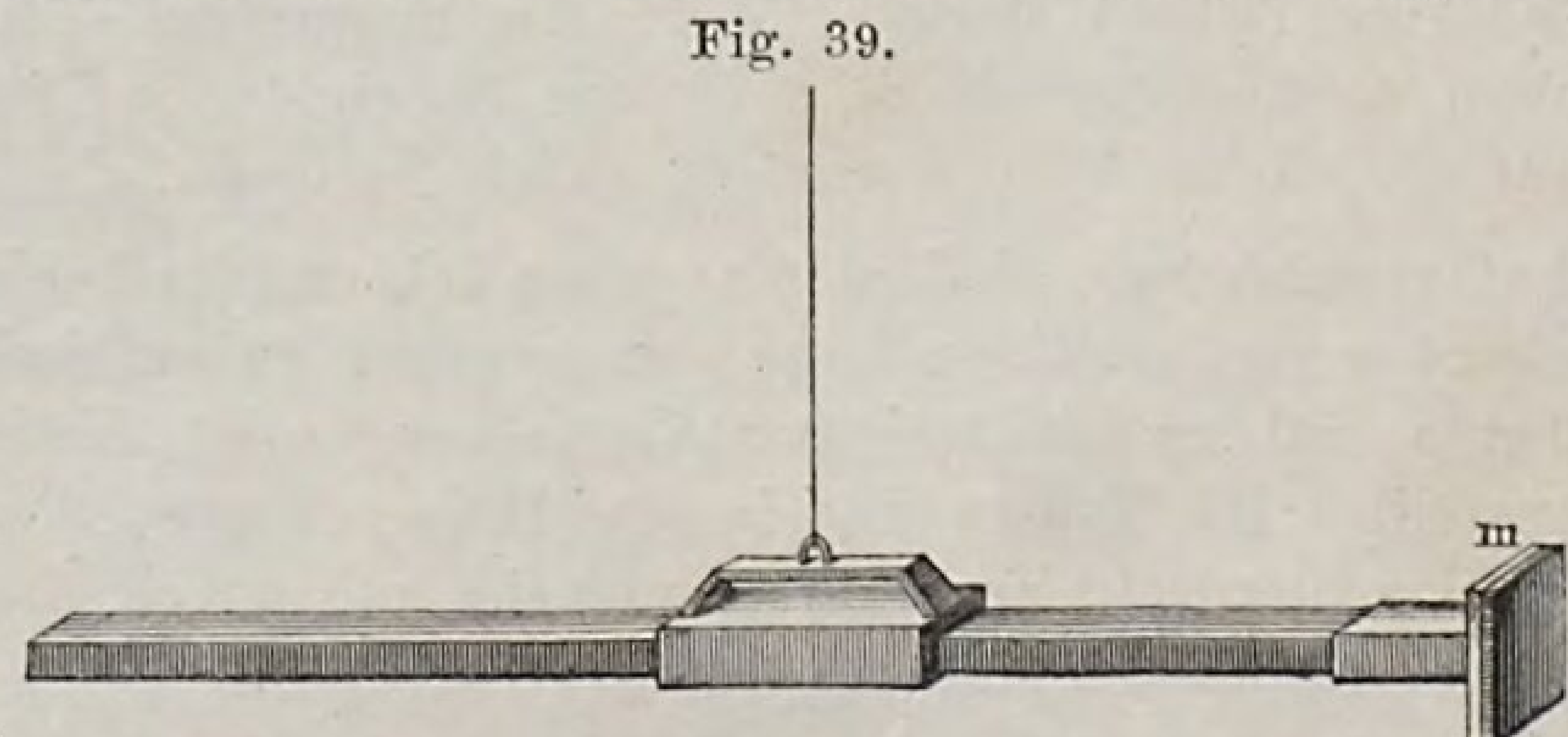
Fig. 38.



Während der Erdmagnetismus die Nadel so stellt, dass ihr Nordpol in n, ihr Südpol in s ist, würde der Magnetstab NS bei der in unserer Figur dargestellten Lage die Nadel gerade umkehren, also ihren Nordpol nach s bringen. Bei einem bestimmten Abstande des Stabes wird er dem Erdmagnetismus vollkommen das Gleichgewicht halten, die Nadel ist alsdann vollkommen astatisch; wenn man aber den Magnetstab mehr und mehr von der Nadel entfernt, so wird auch die richtende Kraft des Erdmagnetismus auf dieselbe wieder mehr zur Geltung kommen. Kurz man hat es auf diese Weise ganz in seiner Gewalt, durch Annähern oder Entfernen des Stabes NS die richtende Kraft der Erde beliebig zu verkleinern.

18 **Das Magnetometer.** Die Genauigkeit, mit welcher man die Lage des magnetischen Meridians mittelst einer Bussole bestimmen kann, hängt begreiflicher Weise unter Anderem auch von dem Durchmesser des getheilten Kreises, also von der Länge der Nadel ab; diese darf man aber nicht zu lang machen, weil sie sonst zu schwer und die Reibung auf der Stahlspitze zu gross wird. Somit ist begreiflich, dass man mit einer solchen Bussole keine bedeutende Genauigkeit erreichen kann; eine ganz neue Epoche für die Untersuchung der Gesetze des Magnetismus und namentlich des Erdmagnetismus begann deshalb, als Gauss durch die Construction seines Magnetometers es möglich machte, die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit astronomischer Genauigkeit zu bestimmen und die geringsten Veränderungen derselben zu beobachten. Er erreichte dies dadurch, dass er statt der auf Spitzen spielenden Magnetnadel Magnetstäbe anwandte, welche er an einem Metalldrahte oder an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden aufhing und an denselben die Poggendorff'sche Spiegelvorrichtung anbrachte. Der Spiegel m befindet sich entweder an dem einen Ende des Magnetstabes, wie

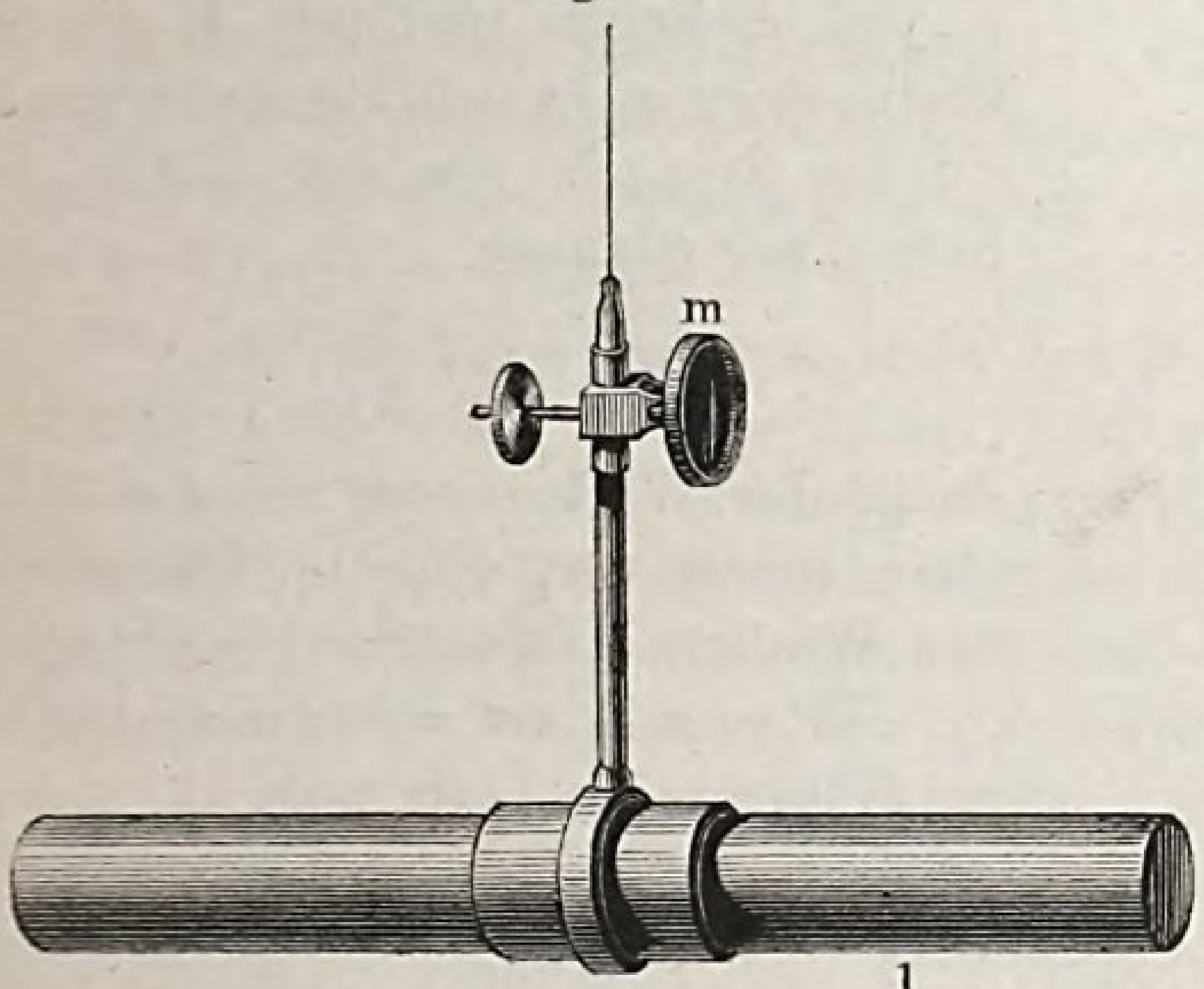
Fig. 39.



bei dem Magnetometer, Fig. 39, oder er ist an der Aufhängevorrichtung angebracht, wie Fig. 40.

Dem Spiegel gegenüber, dessen Ebene, wie wir zunächst annehmen wollen, rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnetstabes steht, wird in einer Entfernung von 1·5 bis 5 m ein Theodolit aufgestellt, ungefähr wie es Fig. 41 (a. f. S.) angedeutet ist. Die optische Axe des Fernrohrs ist etwas höher als der Magnetstab und so abwärts geneigt, dass sie gegen die Mitte des Spiegels gerichtet ist.

Fig. 40.



Am Stativ des Theodolits ist eine 1 m lange, in Millimeter getheilte horizontale Scala befestigt, die nahezu parallel mit dem horizontalen Durchmesser des Spiegels ist. Derjenige Punkt a der Scala ss, welcher mit der optischen Axe des Fernrohrs in einer Verticalebene liegt und hier der Kürze wegen der Mittelpunkt heissen mag, wird durch einen vor der Mitte des Objectivs herabhängenden, mittelst eines Messingringes an der Fassung desselben befestigten, unten durch ein kleines Gewicht beschwerten feinen Draht von dunkler Farbe bezeichnet.

Die Scala ist in einer solchen Höhe befestigt, dass das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr gesehen wird.

Fig. 42 (a. f. S.) stellt einen Theil dieser Scala in natürlicher Grösse dar. Die Zahlen sind in der Weise verkehrt geschrieben, dass ihr Spiegelbild, durch das astronomische Fernrohr gesehen, aufrecht erscheint.

Die ganze Aufstellung ist nun so gemacht, dass die Verticalebene der optischen Axe des Fernrohrs, in welcher auch die verticale Drehungsaxe des Magnetstabes liegen muss, mit dem vorläufig annähernd genau bestimmten magnetischen Meridian zusammenfällt.

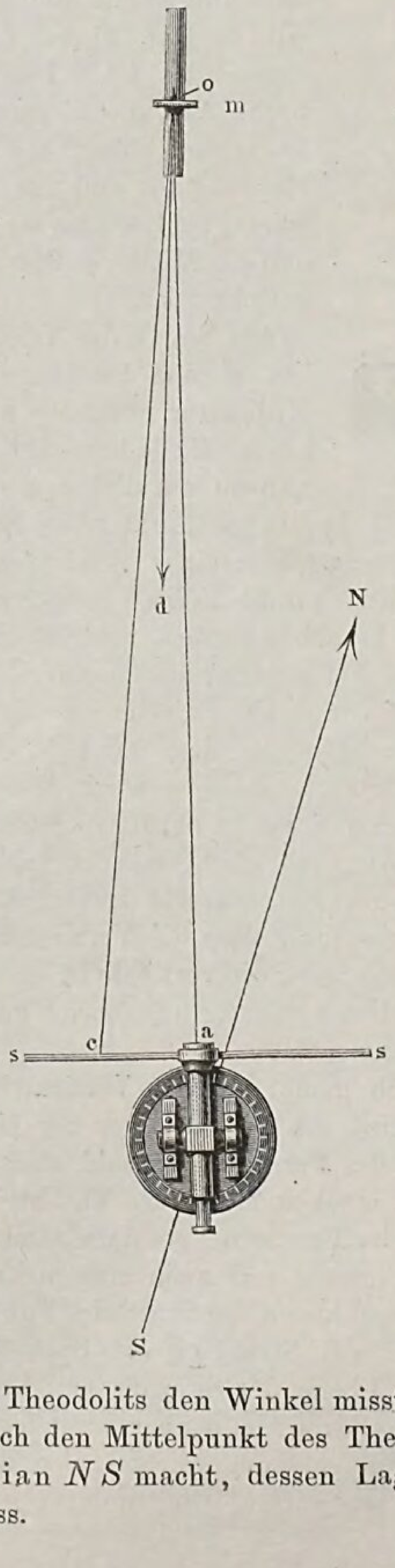
Wenn die Axe des Magnets wirklich genau mit der Verticalebene des Fernrohrs zusammenfällt, so erscheint das Bild des vor der Mitte der Scala hängenden Fadens in der Axe des Fernrohrs; sobald aber der Magnetstab aus dieser Ebene abweicht, erscheinen andere Theilstriche am verticalen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr, so dass man die geringste Abweichung mit Sicherheit erkennen und auch messen kann.

Erscheint statt des erwähnten Mittelpunktes a der Scala der Punkt c am Fadenkreuz, so wird der von c ausgehende Strahl co vom Spiegel in der Richtung oa reflectirt. Ein auf der Ebene des Spiegels errichtetes Perpendikel od muss den Winkel coa halbiren; doa aber ist offenbar dem Winkel v gleich, um welchen der Spiegel, um welchen also auch die Axe des Magnetstabes aus der Ebene des vorläufig bestimmten mag-

netischen Meridians ao herausgedreht worden ist, dieser Winkel ist also gleich der Hälfte des Winkels coa.

Bezeichnen wir mit n die Anzahl der Millimeter, welche zwischen a und c liegen und mit l die in Millimetern ausgedrückte Entfernung ao des Spiegels von der Scala, so haben wir offenbar

Fig. 41.



$$tang\, v = \frac{n}{2l},$$

da ja der Winkel $coa = 2v$ noch klein genug ist, um die Tangenten den Winkeln proportional zu setzen.

Wäre z. B. $ca = 10$ mm und $co = 5000$ mm, so hätte man

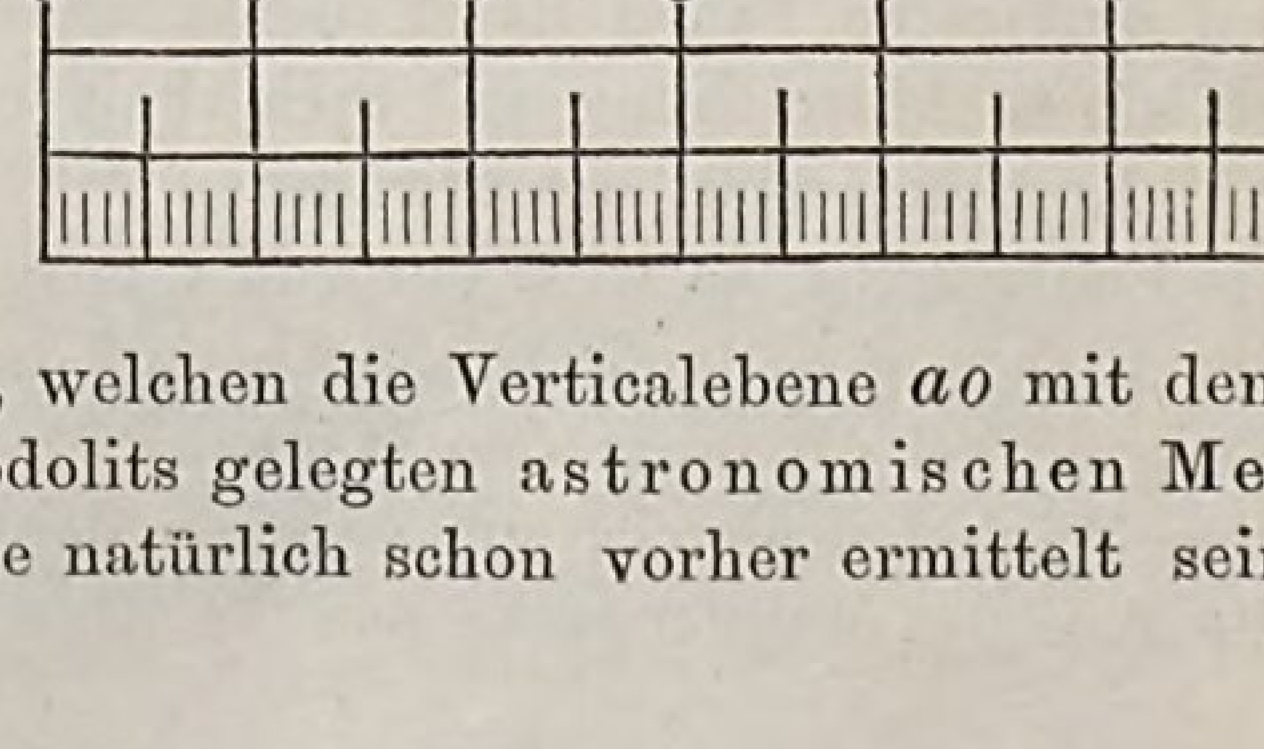
$$tang\, v = \frac{10}{10000} = 0{\cdot}001,$$

also $v = 206$ Secunden. Für $n = 1$ mm wäre also $v = 20{\cdot}6$ Secunden.

Ein geübtes Auge kann nun sehr gut noch Zehntel eines Millimeters schätzen; es ist also möglich, mittelst dieser Vorrichtung die Abweichung der Axe des Magnetstabes, also des wirklichen magnetischen Meridians, von der Ebene ao bis auf zwei Secunden genau zu bestimmen.

Hat man auf diese Weise den Winkel gemessen, welchen der magnetische Meridian od mit der Verticalebene oa der Fernrohraxe macht, so kann man nun leicht auch den genauen Werth der magnetischen Declination finden, wenn man mit Hilfe des Theodolits den Winkel misst, welchen die Verticalebene ao mit dem durch den Mittelpunkt des Theodolits gelegten astronomischen Meridian NS macht, dessen Lage natürlich schon vorher ermittelt sein muss.

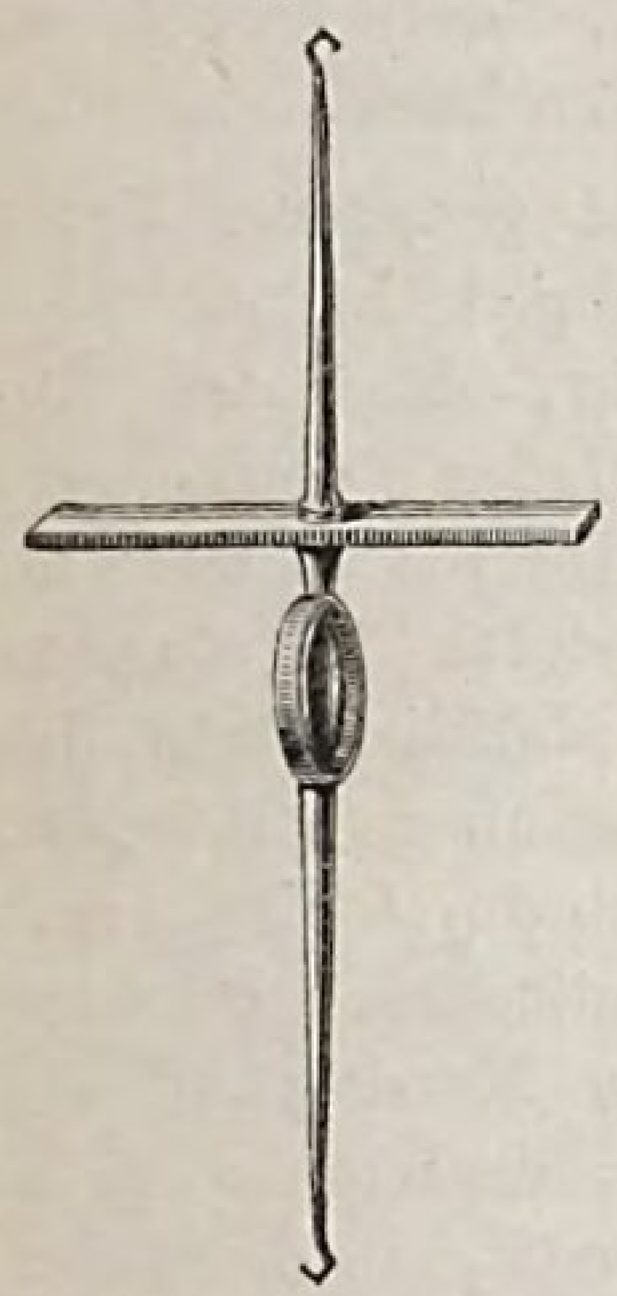
Fig. 42.



Das eben beschriebene Verfahren setzt voraus, dass die Ebene des Spiegels *m* genau rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Stabes stehe, was wohl mit absoluter Genauigkeit kaum zu erreichen ist. Zwar ist die Stellung des Spiegels an dem in Fig. 39 dargestellten Magnetometer durch drei Schrauben regulirbar, welche in unserer Figur weggelassen sind; allein dieses Reguliren ist selbst nur durch die Methode des Umlegens möglich.

Die Methode des Umlegens kann bei Magnetometern aber nur dann angewandt werden, wenn der Spiegel fest mit dem Magnetstabe verbunden ist, so dass er beim Umlegen des Stabes mit umgedreht wird, wie dies z. B. bei dem Magnetometer Fig. 39 der Fall ist, wenn man den Stab aus der Hülse herausnimmt, und ihn so umkehrt, dass die Fläche, welche zuerst die obere war, nun die untere wird. Fig. 43 zeigt eine andere Einrichtung des Magnetometers, bei welcher ebenfalls die Methode des Umlegens anwendbar ist; je nachdem man diese Vorrichtung in dem einen oder in dem anderen Haken aufhängt, befindet sich der Magnetstab über oder unter dem Spiegel.

Fig. 43.



Bei dem Magnetometer, Fig. 40, lässt sich die Methode des Umlegens nicht in Anwendung bringen; eine solche Vorrichtung wird aber auch nicht gebraucht, um den absoluten Werth der magnetischen Declination zu bestimmen, sondern nur, um die Variationen in der Richtung des Magnetstabes genau zu messen, welche entweder durch Aenderungen im Erdmagnetismus, oder durch andere Magnetstäbe oder auch durch galvanische Ströme hervorgebracht werden. Zu diesem Zwecke ist es auch ganz gleichgültig, welchen Winkel die Spiegelebene mit dem magnetischen Meridian macht.

Nachdem wir nun gesehen haben, wie man mit Hilfe des Magnetometers die magnetische Declination bestimmen kann, wollen wir die Construction dieses wichtigen Apparates noch etwas näher betrachten.

Gauss wandte zu seinen Magnetometern Stahlstäbe von 2·5 bis 12·5 kg an; dieselben sind mittelst eines Stahldrahtes oder mittelst eines Bündels ungedrehter Seidenfäden an der Decke des Beobachtungslocales aufgehängt und, um sie vor Luftströmungen zu schützen, von einem achteckigen Gehäuse umgeben, welches nur zwei Oeffnungen hat; die eine oben, um den Aufhängefaden durchzulassen, die andere an der Stelle der Seitenwand, welche dem Spiegel gegenübersteht, um durch dieselbe nach dem Spiegel hinsehen zu können. Letztere Oeffnung ist mit einer geschliffenen Glasplatte geschlossen.

Fig. 44 (a. f. S.) stellt ein von Leyser in Leipzig ausgeführtes transportabeles Magnetometer dar; wie an dem 18 cm langen Magnetstabe

die Spiegelvorrichtung angebracht ist, haben wir bereits in Fig. 40 gesehen. Ein Bündel ungedrehter Seidenfäden, welches den Magnetstab trägt, ist an der oberen Deckplatte des kupfernen Rohres *r* befestigt. Der Magnetstab selbst hängt in einem länglichen Gehäuse von starkem Kupferblech, welches oben ein Loch hat, um das Aufhängungsstäbchen durchzulassen, und dessen seitliche Oeffnungen, welche in unserer Figur offen geblieben sind, damit man den Magnetstab besser sehen kann, durch Glasfenster geschlossen sind. Auch die Stelle bei *d* wird mit einem Blechcylinder umgeben, welcher nur dem Spiegel gegenüber eine mit einer geschliffenen Glasplatte verschlossene Oeffnung hat. Das Gehäuse, in welchem der Magnet spielt, ist mit mehreren Lagen von übersponnenem Kupferdraht umwickelt, dessen Zweck erst später besprochen werden kann.

Fig. 44.

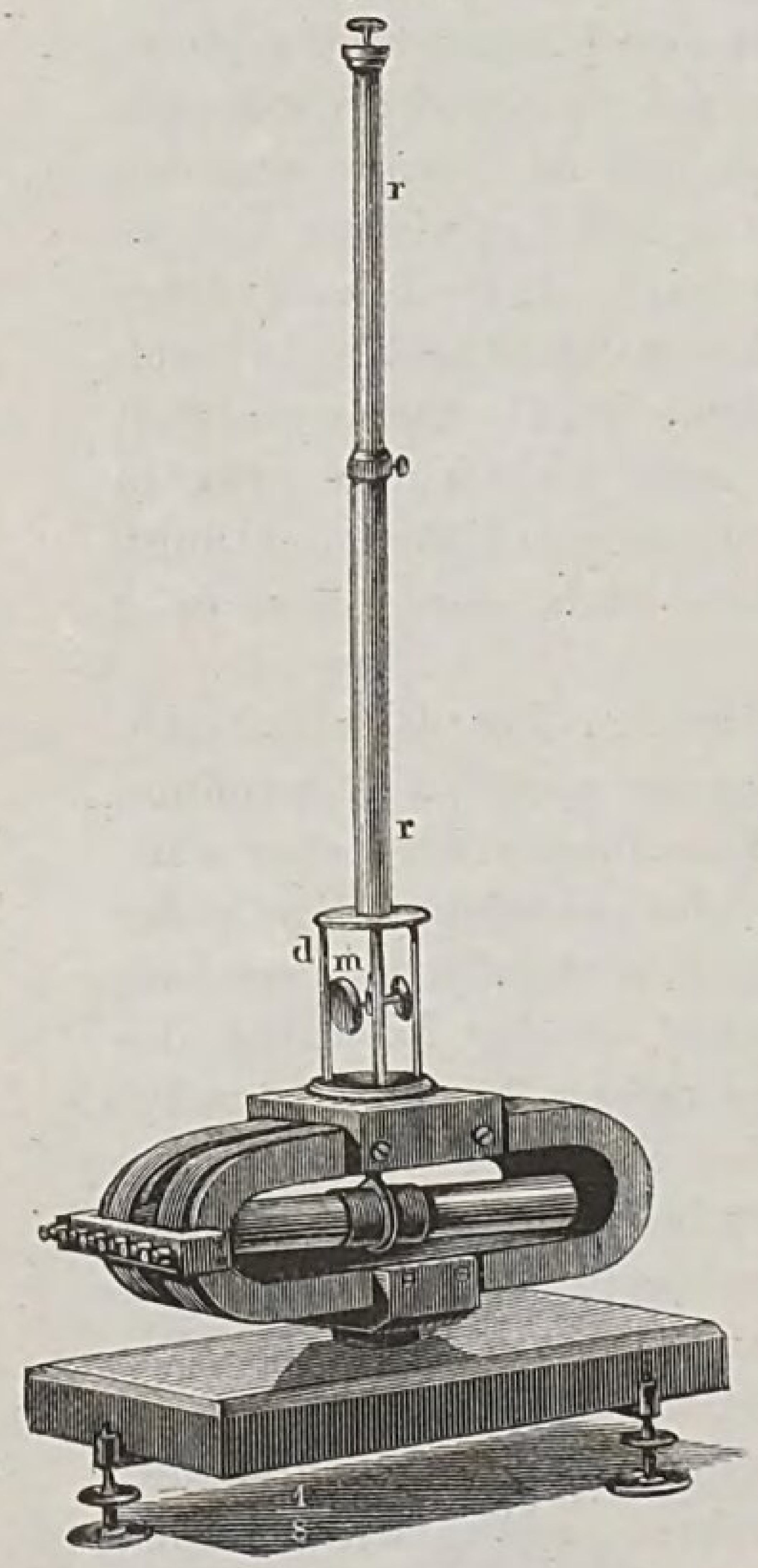
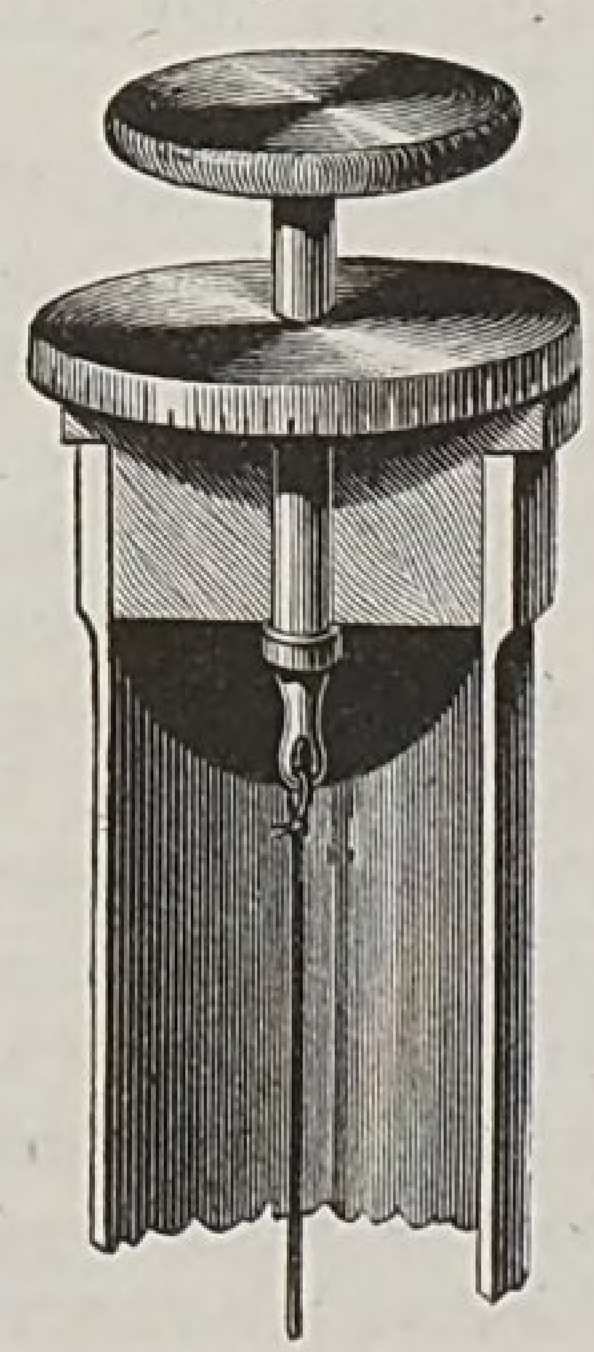


Fig. 45.



Bei genaueren Untersuchungen ist es nothwendig, dass der Aufhängefaden vollkommen ohne Torsion sei, wenn der Magnetstab im magnetischen Meridian steht, dass also, wenn man den Magnetstab durch einen nicht magnetischen, etwa durch einen Messingstab ersetzte, derselbe auch im magnetischen Meridian bliebe. Um nun zu machen, dass der Faden für die richtige Einstellung des Stabes wirklich torsionsfrei sei, muss man den oberen oder unteren Anknüpfungspunkt des Fadens so weit drehen können, bis diese Bedingung erreicht ist. Fig. 45 stellt die an dem Magnetometer, Fig. 44, zu diesem Zwecke angebrachte Vorrichtung dar.

Was die Beobachtung des Magnetometers betrifft, so ist noch folgende wichtige Bemerkung zu machen: Der Magnetstab steht in der Regel nicht fest im magnetischen Meridian, sondern er oscillirt um seine Gleichgewichtslage, und zwar sind die Oscillationen um so langsamer, je bedeutender die Masse des Magnetstabes ist; die Gleichgewichtslage des Magnetstabes ergiebt sich demnach auch nicht aus einer einzigen Ablesung, wie oben angenommen wurde, sondern man findet dieselbe, indem

man das Mittel zwischen den Gränzen nimmt, innerhalb welcher der Stab hin und her schwingt.

Da nun aber dieser Umstand die Beobachtungen sehr erschwert, so hat man gesucht, diese Schwankungen möglichst zu reduciren, was durch die sogenannte Dämpfung gelungen ist. Man umgiebt nämlich den Stab mit einem möglichst massiven kupfernen Bügel (das kupferne Gehäuse des Apparates), und dieser bewirkt, dass, wenn der Stab auch in Schwingungen gerathen ist, dieselben doch sehr rasch kleiner werden und der Stab eine fast stationäre Stellung annimmt, wie es bei dem obigen Apparate wirklich der Fall ist. In welcher Weise der kupferne Dämpfer dies bewirkt, kann erst später bei Gelegenheit der Inductionsströme erläutert werden.

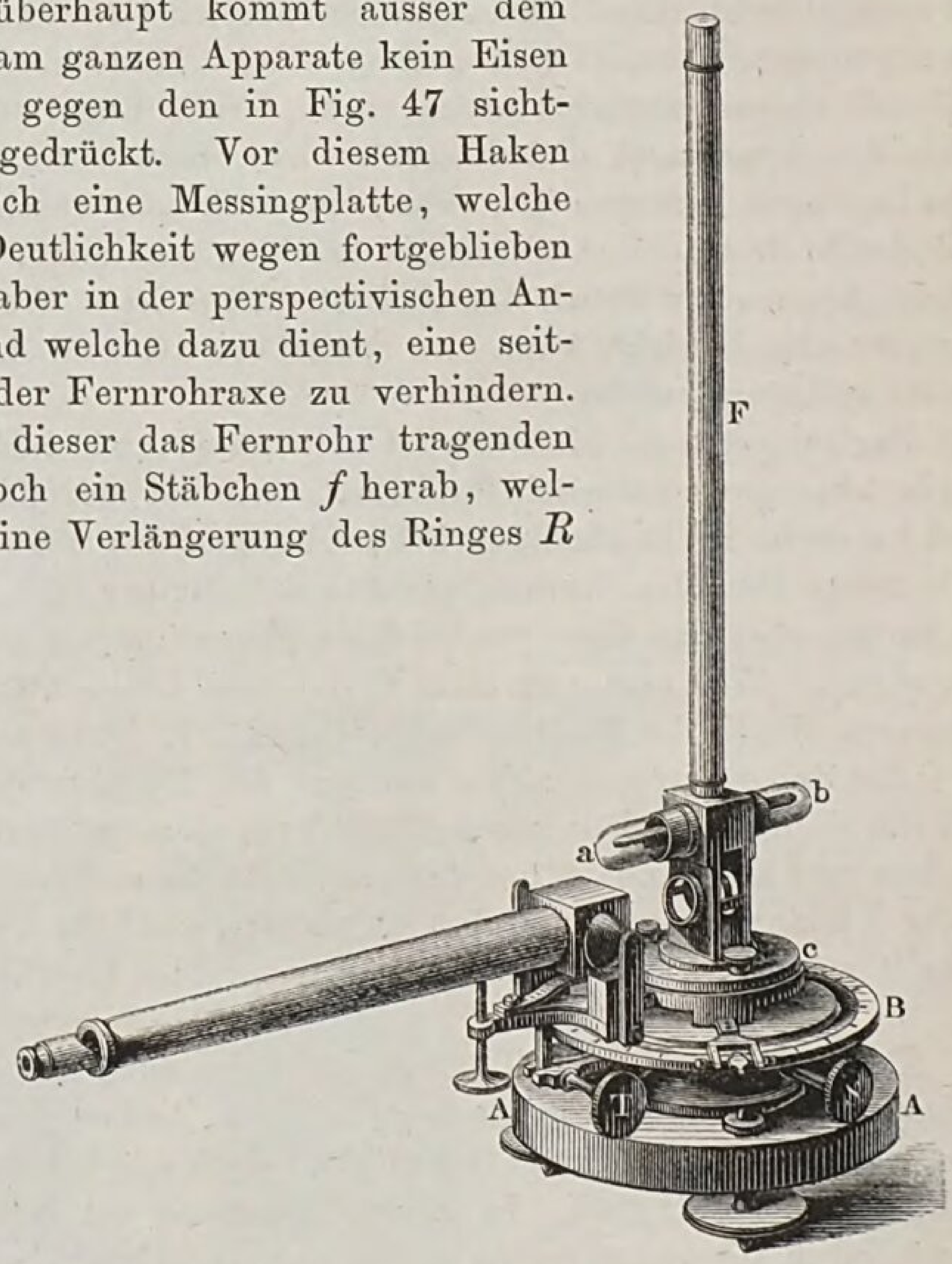
Der magnetische Meridian ist keineswegs, wie bisher angenommen wurde, eine unveränderlich feste Ebene wie der astronomische Meridian, sondern er ist in beständigen Schwankungen begriffen, welche an gewöhnlichen Bussolen freilich nicht wahrnehmbar sind, zu deren Beobachtungen aber das eben beschriebene Magnetometer sich ganz vorzüglich eignet. Will man nun diese Variationen beobachten, nicht aber den absoluten Werth der Declination bestimmen, so ist es nicht mehr nöthig, dass der Spiegel rechtwinklig zur Axe des Magnetstabes befestigt ist; er kann dann jeden beliebigen Winkel mit dem magnetischen Meridian machen und das Beobachtungsfernrohr braucht alsdann auch nicht mehr in der Verlängerung des Stabes zu liegen, sondern kann seitlich aufgestellt werden, wie es eben bei den disponiblen Localitäten bequem ist.

Der magnetische Theodolit. Um auch auf Reisen die magnetischen Constanten bestimmen zu können, bedarf man solcher Apparate, welche bei möglichster Genauigkeit doch möglichst compendiös und leicht transportabel sind. In dieser Beziehung hat sich vor Allen Lamont durch die Construction seines magnetischen Reisetheodolits grosse Verdienste erworben. 19

Fig. 46 (a. f. S.) ist eine perspectivische Ansicht von Lamont's magnetischem Theodolit, wie er zu Declinationsbestimmungen dient. AA ist eine massive messingene Platte, welche, mit drei Stellschrauben zum Horizontalrichten versehen, auf ein passendes, in unserer Figur nicht dargestelltes Stativ gestellt wird. Mit dieser Platte unveränderlich verbunden ist die am Rande mit einem getheilten Silberringe versehene Scheibe BB. In Fig. 47 (a. S. 43) ist ein geometrischer Aufriss des Apparates in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse und zwar zum Theil im Durchschnitt dargestellt. Durch die Höhlung der Platte AA hindurch geht eine verticale Axe, welche die Scheibe C trägt. Die Scheibe C kann in ihrer Ebene um diese verticale Axe gedreht werden, und diese Drehung mit Hilfe zweier Nonien (wovon der eine in Fig. 46 sichtbar ist), die an C befestigt sind und an seiner Drehung Theil nehmen, auf dem getheilten Kreise abgelesen werden.

An der Scheibe C ist eine horizontale Verlängerung angebracht, welche als Fernrohrträger dient. Eine horizontale Axe, um welche sich das Fernrohr drehen kann, wird durch eine messingene Feder (überhaupt kommt ausser dem Magnetstäbchen am ganzen Apparate kein Eisen vor) von unten gegen den in Fig. 47 sichtbaren Haken angedrückt. Vor diesem Haken befindet sich noch eine Messingplatte, welche in Fig. 47 der Deutlichkeit wegen fortgeblieben ist, welche man aber in der perspectivischen Ansicht erkennt und welche dazu dient, eine seitliche Bewegung der Fernrohraxe zu verhindern. Ferner geht von dieser das Fernrohr tragenden Verlängerung noch ein Stäbchen f herab, welches zwischen eine Verlängerung des Ringes R

Fig. 46.



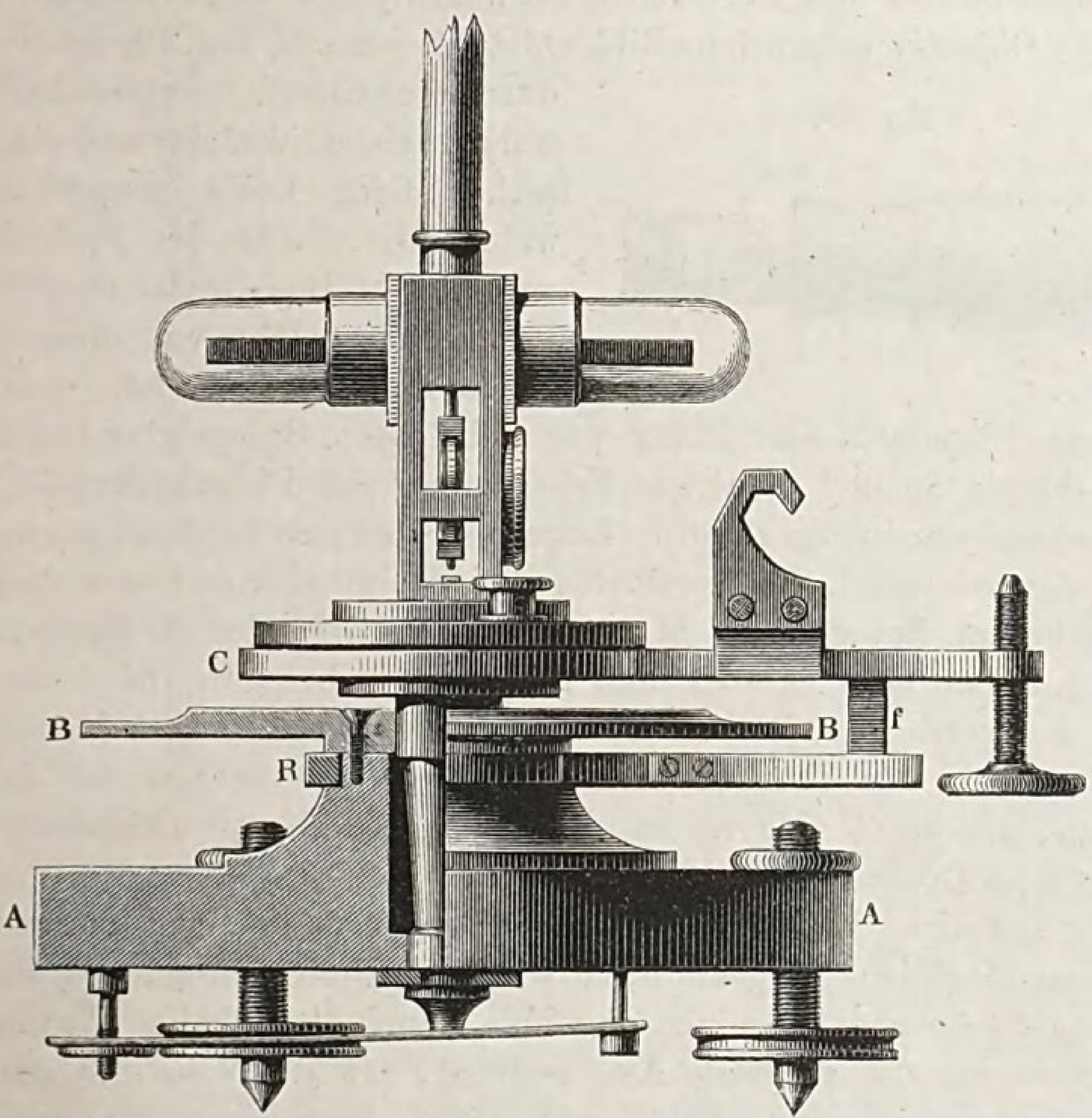
und eine an denselben angeschraubte Messingfeder hineinpasst.

Dieser Ring R, welcher, um den Träger des getheilten Kreises herumgelegt, um denselben sich frei drehen lässt, ist in Fig. 48 im Grundriss dargestellt. Durch Anziehen der Klemmschraube S wird der Ring R festgestellt und dadurch auch eine weitere Umdrehung der Scheibe C mit Allem, was daran befestigt ist, verhindert; eine feinere Einstellung geschieht dann mittelst der Stellschraube T.

Auf die Scheibe C wird nun, nachdem man dieselbe mit Hilfe einer Wasserwage und der drei Stellschrauben der Platte A horizontal gestellt hat, das Magnetgehäuse aufgeschraubt. Der Raum, in welchem das Magnetstäbchen selbst spielen kann, wird durch zwei an den Enden zugeschmolzene Glasröhrchen gebildet. Es wird von einem in der Messingröhre F, Fig. 46, herabhängenden Seidenfaden getragen. Der Spiegel befindet sich unterhalb des Magnets. Ihm gegenüber ist das Gehäuse,

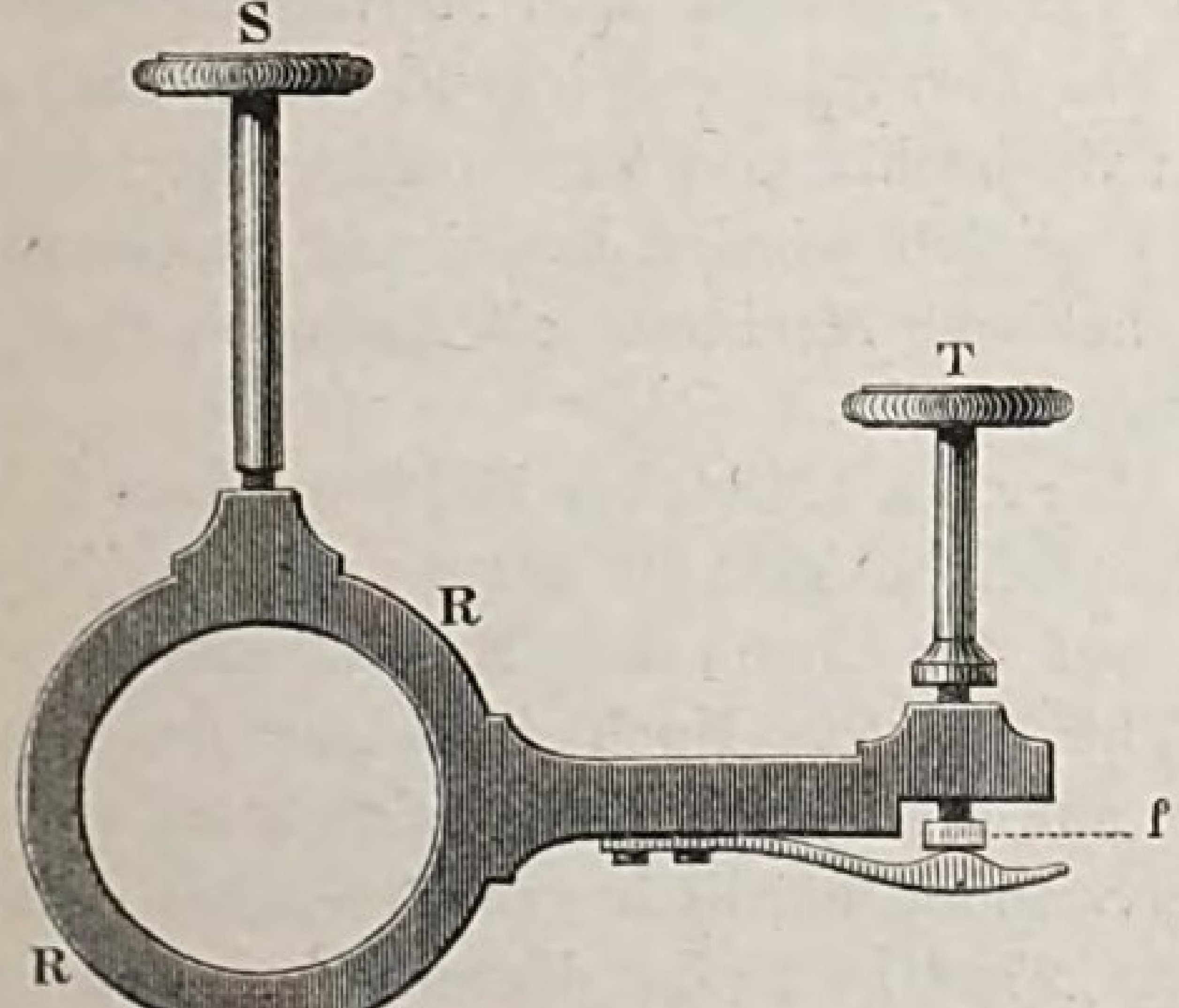
welches auch seitliche, mit Glasplatten geschlossene Oeffnungen hat, mit einer Platte von geschliffenem Spiegelglas geschlossen.

Fig. 47.



Wenn man die Scheibe *C* sammt dem Magnetgehäuse um ihre verticale Axe so dreht, dass die horizontale Axe der beiden Glasröhren *a b* ungefähr in den magnetischen Meridian zu stehen kommt, so kann nun der Magnet frei spielen und sich in den magnetischen Meridian einstellen. Nehmen wir an, dass die Ebene des Spiegels genau rechtwinklig steht auf der magnetischen Axe des Magnetstabes, so wird eine auf der Ebene des Spiegels normale Linie die Richtung des magnetischen Meridians angeben. Dies vorausgesetzt, wird nun

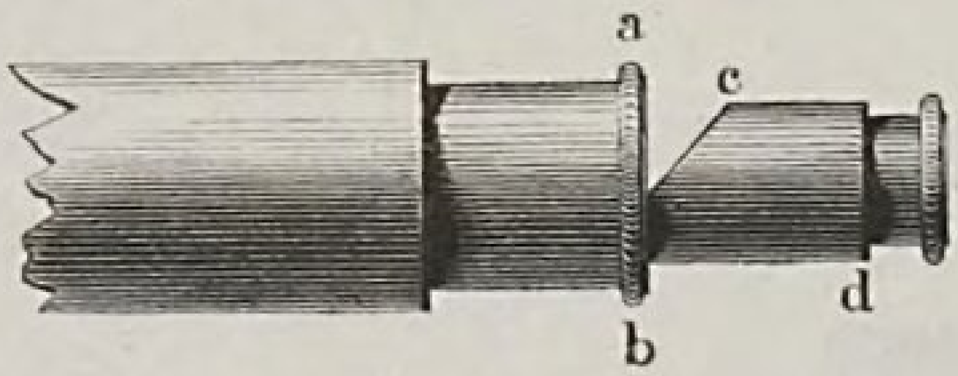
Fig. 48.



der Apparat so eingestellt, das die Normale der Spiegelebene mit der Axe des Fernrohres zusammenfällt, dessen eigenthümliche Einrichtung aus Fig. 49 deutlicher zu ersehen ist.

Das Objectiv des Fernrohres ist dem Spiegel zugewendet. Da wo das vom Objectiv entworfene Bild entsteht, bei *a b*, Fig. 49, ist das Rohr durch eine Glasplatte verschlossen, auf welcher eine senkrechte und eine wagerechte feine Linie eingeritzt sind, welche die Stelle des Fadenkreuzes vertreten. Das Ocular steckt in der Hülse *c d*, welche von oben her zur Hälfte eingeschnitten ist, so dass man in diesen Einschnitt eine Platte von unbelegtem Spiegelglas legen kann. Dieser kleine Spiegel dient zur Erleuchtung des Fadenkreuzes. Ist der Apparat nahezu in die richtige Lage gebracht, so erblickt man, durch das Ocular schauend, den verticalen Strich einmal direct und dann noch sein Bild im Spiegel des Magnets. Mit Hilfe der Stellschraube *T*, Fig. 48, kann man es aber nun leicht dahin bringen, dass die beiden Bilder des verticalen Striches zusammenfallen, und wenn dies der Fall ist, so steht in der That die Axe des Fernrohres normal auf der Spiegelebene, sie steht also im magnetischen Meridian. (Siehe über das Gauss'sche Ocular auch Bd. II, 1. Abth. S. 155.)

Fig. 49.



Ist auf diese Weise die Axe des Fernrohres in die Ebene des magnetischen Meridians eingestellt, so wird der Nonius abgelesen, dann das Magnetgehäuse vom Theodolit abgehoben und die Scheibe *C* sammt dem Fernrohre um die verticale Axe gedreht, bis die Visirlinie des Fernrohres in dem astronomischen Meridian steht, bis es also auf ein für den Beobachtungsort bestimmtes Meridianzeichen gerichtet ist, und nun abermals der Nonius abgelesen. Der Unterschied dieser beiden Ablesungen ergiebt dann die gesuchte Declination.

Wenn, wie es wohl meistens der Fall ist, für den Ort, wo der magnetische Theodolit aufgestellt wurde, gerade kein Meridianzeichen vorhanden ist, so richtet man das Fernrohr auf irgend einen entfernten Punkt, dessen Azimut für den Beobachtungsort entweder schon bekannt ist, oder aus genauen Karten ermittelt werden kann, und bestimmt also den Winkel, welchen der magnetische Meridian mit der nach dem fraglichen Orte gerichteten Visirlinie macht.

So fand z. B. Lamont, als er am 7. October 1852 auf dem Schlossberge bei Freiburg seinen Theodolit aufgestellt hatte und die Visirlinie des Fernrohres rechtwinklig auf der Ebene des Magnetspiegels stand, dass der Nonius auf 308° 22·6′ zeigte. Nach Abnahme des Magnetgehäuses wurde das Fernrohr auf die Spitze des Kirchthurms von Langendenzlingen (ungefähr zwei Stunden nördlich von Freiburg) gerichtet, und nun zeigte der Nonius auf 278° 14·3′; der Unterschied der beiden Ablesungen beträgt also 30° 8·3′.

Den Generalstabskarten zufolge liegt die Visirlinie von dem Beobachtungspunkte auf dem Schlossberge nach dem Kirchthurme von Denzlingen noch 12° 43′ östlich vom astronomischen Meridian; diese 12° 43′ sind nun noch von 30° 8·3′ abzuziehen, und so bleibt also für die Declination der Werth 17° 25·3′.

Dies wäre der wahre Werth der Declination, wenn die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnets stände, was mit voller Genauigkeit nie erreichbar ist. Der magnetische Reisetheodolit ist nicht so eingerichtet, dass man den Magnet umlegen und alsdann mittelst einer zweiten Messung den Collimationsfehler eliminiren kann; dagegen ist die Grösse dieses Fehlers durch genaue Messung in einem magnetischen Observatorium, für welches die Lage des magnetischen Meridians bereits ermittelt ist, ein- für allemal bestimmt. Für das fragliche Instrument, mit welchem Lamont die obigen Messungen ausführte, beträgt er + 14·5′, und diese sind noch zu 17° 25·3′ zu addiren, um den wahren Werth der Declination für Freiburg zu finden, welcher demnach 17° 39·8′ ist.

Variationen und Störungen der Declination und Inclination. Es ist bereits früher bemerkt worden, dass die Lage des magnetischen 20
Meridians fortwährenden Schwankungen unterworfen ist. Diese Schwankungen sind bald zufällig und plötzlich, bald regelmässig und periodisch. — Die ersteren nennt man Störungen, die letzteren Variationen. Bezüglich der Variationen beobachtet man in unseren Gegenden folgenden Gang. Während der Nacht ist die Nadel fast stationär, mit Sonnenaufgang aber fängt das Nordende der Nadel an, sich nach Westen zu bewegen. Gegen 5 Uhr Nachmittags erreicht die westliche Ablenkung ihr Maximum, die Nadel geht dann bis 9, 10 oder 11 Uhr Abends nach Osten zurück.

Die Amplitude der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwischen dem östlichsten und westlichsten Stande der Nadel, ist veränderlich; sie ist in den Sommermonaten am grössten. Ihr Mittelwerth beträgt in Deutschland vom April bis zum September 13 bis 15 Minuten, vom October bis zum März nur 8 bis 10 Minuten. An manchen Tagen beträgt die Amplitude 25′, an anderen dagegen nur 5′ bis 6′.

In nördlichen Gegenden sind im Allgemeinen die täglichen Variationen bedeutender und weniger regelmässig. Je mehr man sich dagegen dem magnetischen Aequator nähert, desto mehr nimmt die Grösse der täglichen Variationen ab, und auf dem magnetischen Aequator selbst ist sie ganz unmerklich.

Südlich vom magnetischen Aequator finden die täglichen Variationen in entgegengesetzter Richtung statt, d. h. hier bewegt sich das Südende der Nadel nach Westen, während nördlich vom magnetischen Aequator das Nordende sich nach dieser Richtung bewegt; und wenn auf der nördlichen Hemisphäre das Nordende der Nadel sich nach Osten bewegt, so

hat auf der südlichen Halbkugel das Südende der Nadel eine östliche Bewegung.

Die Beobachtung der täglichen Variationen erfordert sehr genaue Instrumente. Alle früher angewandten werden in dieser Hinsicht von dem schon oben beschriebenen Gauss'schen Magnetometer übertroffen, welches die geringsten Veränderungen in der Lage der Magnetnadel angiebt.

Auch die Inclination ist solchen täglichen Variationen unterworfen, wie dies zuerst Graham im Jahre 1772 beobachtet hat, jedoch ist die Amplitude dieser Variationen geringer als bei der Declination, und sie lassen sich überhaupt bei weitem nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie die Variationen der Declination.

Abgesehen von diesen täglichen Variationen, ist aber auch der Mittelwerth der Declination allmäligen sehr bedeutenden Veränderungen unterworfen. So war z. B. die Declination für Paris

im Jahre	1580	. . .	11°	30′	östlich
„ „	1663	. . .	0	0	„
„ „	1780	. . .	19	55	westlich
„ „	1814	. . .	22	34	„
„ „	1874	. . .	17	30	„

Seit 1814 hat die westliche Declination zu Paris fortwährend abgenommen und jetzt beträgt sie nur noch gegen 17°.

Solche an längere Perioden gebundene Veränderungen der Declination nennt man zum Unterschiede von den täglichen seculare Variationen.

Die Inclination ist ebenso wie die Declination täglichen und secularen Variationen unterworfen. Für Paris betrug die Inclination im Jahre 1671 noch 75°; seitdem hat sie fortwährend abgenommen und beträgt daselbst gegenwärtig nur noch ungefähr 65°.

Wenn auch die früheren Bestimmungen nicht sehr genau sind, so ist doch eine fortwährende Abnahme der Inclination bewiesen.

Wir wenden uns nun zu den magnetischen Störungen. Es giebt verschiedene Einflüsse, welche plötzlich die Regelmässigkeit der täglichen Variationen stören, indem sie die Magnetnadel in unregelmässige Schwankungen versetzen, deren Amplitude oft mehr als einen Grad beträgt. Unter allen diesen Einflüssen wirkt das Nordlicht am stärksten. Wenn dieses Meteor am Himmel erscheint, ist die Magnetnadel in beständiger Bewegung und erleidet eine bedeutende Ablenkung. Die Nadel ist aber nicht allein an den Orten bewegt, wo gerade das Nordlicht sichtbar ist, sondern auch noch an weit entfernten Orten, wo man keine Spur des Nordlichtes am Himmel sieht. Im Allgemeinen jedoch sind die Schwankungen um so stärker, je näher man dem Phänomen ist und je intensiver es erscheint.

Erdbeben und vulcanische Eruptionen scheinen auch auf die Nadel einzuwirken, und manchmal haben sie eine permanente Veränderung ihrer Lage zur Folge. So sah D. Bernouilli im Jahre 1767, dass während eines Erdbebens die Inclination um $\frac{1}{2}$ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, dass sich die Declination bedeutend änderte.

Intensität des Erdmagnetismus. Einer der wichtigsten Punkte für die Theorie des Erdmagnetismus ist die Bestimmung seiner Intensität an verschiedenen Orten der Erde und zu verschiedenen Zeiten. Erst in neuerer Zeit sind darüber genaue Untersuchungen angestellt worden. Borda gab zuerst eine genaue Methode an, um die Intensitäten des Erdmagnetismus verschiedener Orte mit einander zu vergleichen, und Humboldt wandte diese Methode auf seiner Reise nach Amerika, sowie auf einer anderen Reise durch Frankreich, Italien und Deutschland an. Gauss endlich gab eine Methode an, die Intensität der magnetischen Erdkraft auf ein absolutes Maass zurückzuführen. 21

Borda's Methode besteht darin, die Oscillationsdauer einer und derselben Nadel an verschiedenen Orten zu beobachten, und aus der Veränderung der Schwingungsdauer auf die Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus zu schliessen. Eine Magnetnadel, eine Declinationsnadel sowohl wie eine Inclinationsnadel, aus ihrer Gleichgewichtslage etwas entfernt, und dann sich selbst überlassen, oscillirt wie ein Pendel, und in der That sind auch diese Oscillationen ganz den Gesetzen unterworfen, welche wir früher für das gewöhnliche Pendel kennen gelernt haben; nur ist hier der Magnetismus, dort die Schwere die Ursache der Schwingungen. Wir haben dort gesehen, dass sich die Schwingungszeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften verhalten, dass also die beschleunigenden Kräfte den Quadraten der Schwingungszahlen direct proportional sind. Wenn also eine und dieselbe Nadel etwa an einem Orte doppelt so schnell oscillirte als am anderen, so wäre also hier die magnetische Kraft 4 mal so gross als dort.

Es sei M die magnetische Kraft, welche an einem Orte die Schwingungen der Nadel erzeugt, und N die Anzahl der Oscillationen, welche sie in einer gegebenen Zeit, etwa in 5 Minuten, macht; ferner sei m die beschleunigende Kraft, welche an einem zweiten Orte auf dieselbe Nadel wirkt, und n die Zahl der Oscillationen, welche sie in derselben Zeit, also auch in 5 Minuten, macht, so hat man

$$\frac{M}{m} = \frac{N^2}{n^2}.$$

Hätte man z. B. am ersten Orte $N = 25$, am zweiten $n = 24$ gefunden, so hätte man

$$\frac{M}{m} = \frac{625}{576} = 1{\cdot}085,$$

das heisst, wenn man die magnetische Kraft, welche am zweiten Orte auf die Nadel wirkt, zur Einheit nimmt, so ist diese Kraft am ersten Orte 1·085.

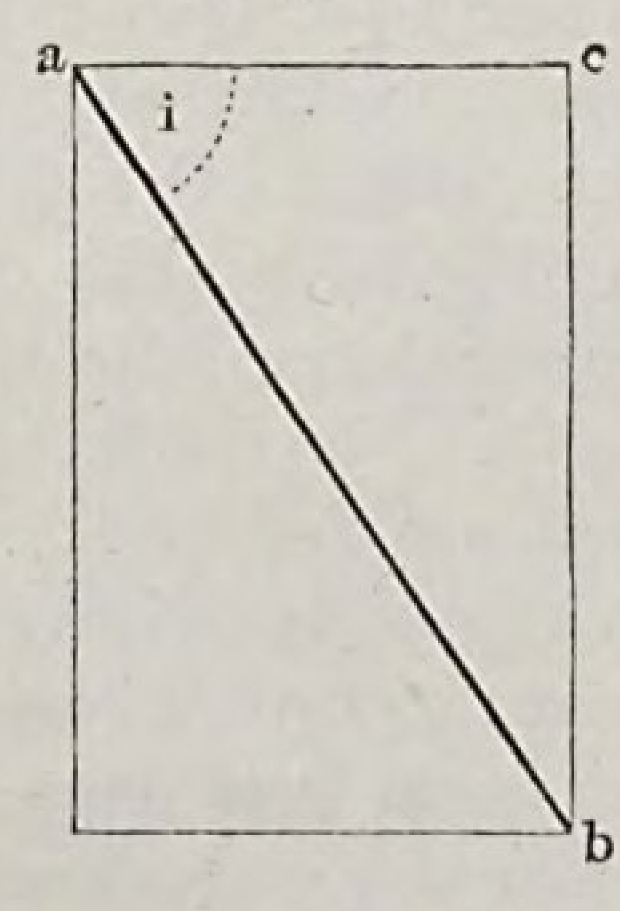
Wenn man nun annehmen kann, dass sich der magnetische Zustand der Nadel von einem Versuch zum andern nicht geändert habe, so findet man auf diese Weise das Verhältniss der erdmagnetischen Kraft für zwei verschiedene Orte der Erde.

Um die Intensitäten der ganzen magnetischen Erdkraft für verschiedene Orte direct mit einander zu vergleichen, müsste man zu diesen Oscillationsversuchen natürlich Inclinationsnadeln anwenden. Weil aber Versuche mit diesen immer weniger genaue Resultate geben, so zieht man vor, Oscillationsversuche mit der Declinationsnadel zu machen, die Inclination zu messen und aus diesen Daten die totale Intensität zu berechnen.

Die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht, ist nur ein Theil der ganzen magnetischen Erdkraft, und zwar ist dieser Antheil um so kleiner, je grösser die Inclination ist.

Wenn mit M die in der Richtung der Inclinationsnadel wirkende ganze magnetische Erdkraft ab, Fig. 50, und mit i die Inclination bezeichnet wird, so ist $M \cdot \cos i$ die horizontale Componente ac derselben, also die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht. Bezeichnet aber m die horizontale Componente der magnetischen Erdkraft, so ist $\frac{m}{\cos i}$ die totale.

Fig. 50.



Wenn man die Resultate der Intensitätsbestimmungen zusammenstellt, welche an verschiedenen Orten der Erdoberfläche gemacht worden sind, so ergiebt sich das allgemeine Resultat, dass die totale Intensität in der Nähe des magnetischen Aequators am kleinsten ist und dass sie um so mehr wächst, je mehr man sich von demselben nach Norden oder Süden entfernt. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1·5 mal so gross, als am Aequator. An einem und demselben Orte ist aber die Intensität auch veränderlich und wie die Declination und Inclination täglichen und secularen Variationen unterworfen.

Die Schwingungsmethode giebt nur die Verhältnisszahlen der erdmagnetischen Kraft, ohne sie auf ein absolutes Maass zurückzuführen. Ausserdem hat diese Methode noch den Nachtheil, dass man nicht immer sicher sein kann, ob der magnetische Zustand der Nadel selbst sich nicht geändert habe, und man also Gefahr läuft, Veränderungen in diesem Zustande den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft zuzurechnen. Von allen diesen Mängeln ist die Gauss'sche Methode der Intensitätsbestimmung frei; wir wollen in einem der nächsten Paragraphen ver-

suchen, die Grundsätze derselben auseinander zu setzen, so weit es auf elementare Weise möglich ist.

Einfluss des Erdmagnetismus auf das Eisen. Wenn man 22
eine Stange von weichem Eisen in die Richtung der Inclinationsnadel hält, so wird sie durch den Einfluss des Erdmagnetismus selbst magnetisch, und zwar wird ihr oberes Ende ein Südpol, ihr unteres ein Nordpol, wie man leicht sehen kann, wenn man eine kleine empfindliche Magnetnadel bald dem oberen, bald dem unteren Ende der Stange nähert. Derselbe Pol der Nadel wird von dem einen Ende des Stabes angezogen, von dem anderen abgestossen. Kehrt man den Stab um, so sind sogleich auch seine Pole umgekehrt, das obere Ende ist wieder ein Südpol, das untere wieder ein Nordpol.

Dieselbe Wirkung, nur etwas schwächer, bringt auch der Erdmagnetismus auf eine vertical hängende Eisenstange hervor, überhaupt auf jede Eisenstange, welche nicht einen rechten Winkel mit der Richtung der Inclinationsnadel macht, nur ist die Wirkung um so geringer, je mehr sie sich von der Richtung der Inclinationsnadel entfernt.

Ist I die Intensität des Magnetismus, welche ein Stab annimmt, wenn er in der Richtung der Inclinationsnadel gehalten wird, so wird $I \cos \alpha$ die Intensität seines Magnetismus sein, wenn er einen Winkel α mit der Richtung der Inclinationsnadel macht.

In gleicher Weise wie auf einen Eisenstab wirkt der Erdmagnetismus inducirend überhaupt auf jede Eisenmasse.

Eisenstäbe, welche Jahre lang in unveränderter Weise dem magnetisch vertheilenden Einfluss der Erde ausgesetzt blieben, zeigen oft permanenten Magnetismus.

Stahlstäbe, welche der vertheilenden Wirkung des Erdmagnetismus ausgesetzt sind, werden durch einige Hammerschläge in permanente Magnete verwandelt, und daher kommt es, dass fast alle Werkzeuge einer Schlosserwerkstätte mehr oder minder starke Magnete sind. Es scheint, dass durch den Stoss die Coërcitivkraft überwunden wird, vermöge deren der Stahl der Magnetisirung durch den Erdmagnetismus widersteht.

Bestimmung der Inclination. Die Inclination lässt sich nicht 23
so leicht direct mit Genauigkeit bestimmen als die Declination, weil es ungemein schwierig ist, zuverlässige Inclinatorien zu construiren, weshalb denn auch diese Instrumente sehr kostspielig und für öfteren Transport wenig geeignet sind. Man hat deshalb auf mannigfache Weise versucht, die Inclination auf indirectem Wege zu bestimmen. Brugmann sprach zuerst die Idee aus, den durch den Erdmagnetismus im weichen Eisen inducirten Magnetismus zur Inclinationsbestimmung anzuwenden.

Nach Lloyd's Versuchen ist die magnetisch inducirende Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf einen Eisenstab wirkt, oder, mit anderen Worten, das magnetische Moment, welches durch den Erdmagnetismus in einem Eisenstab hervorgerufen wird, dem Cosinus des Winkels proportional, welchen der Stab mit der Richtung der Inclinationsnadel macht.

Darauf hat nun Lloyd ein sehr sinnreiches Verfahren zur Bestimmung der Inclination mittelst einer horizontalen Magnetnadel gegründet. Oestlich oder westlich von einer, an einem Conconfaden hängenden, 8 cm langen horizontalen Magnetnadel ist ein runder Eisenstab von 30 cm Länge und 2 cm Durchmesser angebracht. Er lässt sich um eine senkrecht zu seiner Länge und rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stehende Axe drehen, welche die Länge der Magnetnadel halbirt. Das eine Ende des Eisenstabes stösst gerade an diese Umdrehungsaxe an, so dass es beständig in der Horizontalebene der Nadel bleibt. Dieser Stab wird nun einmal vertical gestellt und dann durch eine Drehung um 90^0 in eine horizontale Lage gebracht. In beiden Lagen lenkt er die Nadel aus ihrer Gleichgewichtslage ab, und wenn man diese Ablenkungen genau beobachtet hat, so kann man daraus die Stärke der magnetischen Induction bei horizontaler und bei verticaler Stellung des Stabes und aus dem Verhältniss beider die Inclination ableiten.

In anderer Weise hat Lamont die magnetische Induction im weichen Eisen benutzt, um an seinem magnetischen Reisetheodolit eine Vorrichtung zur indirecten Bestimmung der magnetischen Inclination anzubringen.

In Fig. 51 ist das Magnetgehäuse sammt der Inclinationsvorrichtung dargestellt. Auf das Magnetgehäuse wird zunächst eine Messingplatte aufgesetzt, welche eine Hülse h zum Einstecken eines Thermometers t trägt. Auf diese Scheibe wird der massive Messingring NN aufgesetzt, welcher, oben und unten eben abgeschliffen, überall möglichst von gleicher Dicke ist; dieser Ring trägt seitlich zwei Arme, von denen der eine aufwärts, der andere abwärts gerichtet ist.

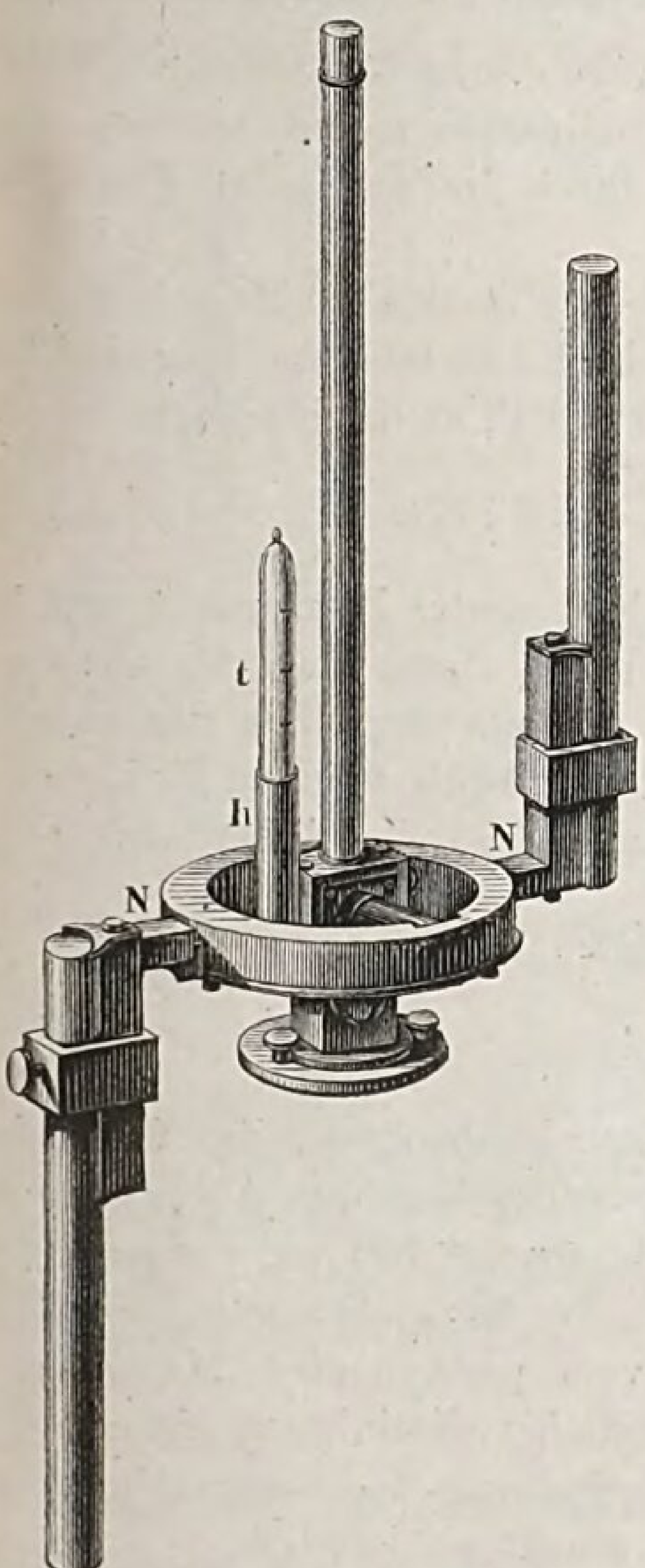
In diese zwei Arme werden zwei runde Stäbe von weichem Eisen eingesteckt und mittelst entsprechender Schrauben festgeklemmt.

Bevor man den Ring mit den Eisenstäben aufsetzt, wird das Instrument gerade so eingestellt, wie zu einer Declinationsbestimmung, d. h. so, dass, wenn man in das Fernrohr schaut, das durch den Magnetspiegel reflectirte Bild des verticalen Fadens mit dem direct gesehenen zusammenfällt. Nun wird der Ring mit den Eisenstäben auf das Magnetgehäuse gesetzt, und zwar so, dass die Verticalebene der beiden Stäbe, durch die Mitte des Magnetstäbchens gehend, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht.

In der Höhe des Magnetstäbchens befindet sich nun auf der einen Seite ein Nordpol (das untere Ende des nach oben gekehrten Eisenstabes), auf der anderen ein Südpol (das obere Ende des nach unten gekehrten

Eisenstabes), und diese beiden magnetischen Pole bewirken in gleichem Sinne eine Ablenkung des Magnetstäbchens aus dem magnetischen Meridian. Die Grösse dieser Ablenkung erfährt man, wenn man die Platte *C*, Fig. 47, sammt Allem, was darauf und daran befestigt ist, um ihre verticale Axe dreht, um dem abgelenkten Magnetstäbchen zu folgen, bis die Axe des Fernrohrs wieder rechtwinklig steht auf der Ebene des Magnetspiegels, bis also die beiden Bilder des verticalen Fadens wieder zusammenfallen, wenn man in das Ocular des Fernrohrs hineinschaut.

Fig. 51.



Liest man jezt den Nonius abermals ab, so giebt die Differenz dieser und der ersten Ablesung die Grösse des Winkels, um welchen die Magnetnadel durch den Einfluss des in den beiden Eisenstäben inducirten Magnetismus aus dem magnetischen Meridian abgelenkt worden ist. Wir wollen diesen Ablenkungswinkel mit v bezeichnen und zunächst sehen, in welchem Zusammenhange der Werth dieses Winkels v mit der Inclination i steht.

Es sei X die horizontale und Y die verticale Componente des Erdmagnetismus, so ist die Kraft, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstäbchen in denselben zurückzuziehen strebt, gleich $X \,.\, sin\ v$.

Der in den beiden Eisenstäben inducirte Magnetismus, also auch das Drehungsmoment, welches sie auf das Magnetstäbchen ausüben, ist aber dem verticalen Erdmagnetismus proportional, dieses Drehungsmoment hält aber der Kraft das Gleichgewicht, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das abgelenkte Magnetstäbchen nach dem magnetischen Meridian zurückzieht, wir haben also

$$X . sin\ v = K Y.$$

Setzt man die Inclination gleich i so ist $Y = X . tang\ i$, folglich auch

$$tang\ i = \frac{1}{K} sin\ v.$$

Man erhält also die Tangente der Inclination, wenn man den Sinus der durch die verticalen eisernen Stäbe bewirkten Ablenkung mit einem constanten Factor $\frac{1}{K}$ multiplicirt, dessen Werth für ein bestimmtes Paar von Eisenstäben dadurch ermittelt wird, dass man für denselben Ort an einem zuverlässigen Inclinatorium die Inclination i und an dem magnetischen Theodolit die entsprechende durch die verticalen Eisenstäbe bewirkte Ablenkung v abliest.

So fand Lamont im Jahre 1850 die Inclination zu München gleich 64° 59·5′ und die entsprechende durch die Eisenstäbe am magnetischen Theodolit bewirkte Ablenkung gleich 20° 18·4′, es ist demnach

$$\frac{1}{K} = \frac{tang\, 64^0\, 59{\cdot}5'}{sin\, 20^0\, 18{\cdot}4'} = 6{\cdot}177.$$

Ist einmal dieser Factor für ein bestimmtes Instrument mit bestimmten Eisenstäben ermittelt, so reicht an einem anderen Orte nur die Beobachtung der Ablenkung v hin, um aus derselben die entsprechende Inclination zu berechnen. Im Jahre 1850 fand z. B. Lamont zu Aschaffenburg mit seinem Instrumente die fragliche Ablenkung gleich 22° 1′; für Aschaffenburg wäre demnach

$$tang\, i = 6{\cdot}177\, .\, sin\, (22^0\, 1')$$

und danach

$$i = 66^0\, 38{\cdot}5'.$$

Es ist bisher nur von einer einmaligen Beobachtung der durch den inducirten Magnetismus der Eisenstäbe hervorgebrachten Ablenkung die Rede gewesen; da aber die Eisenstäbe nie absolut frei von permanentem Magnetismus sind, so ist es nothwendig, die Beobachtung in der Weise zu vervielfältigen, dass dadurch die vom permanenten Magnetismus herrührenden, sowie sonstige Fehler möglichst eliminirt werden; es geschieht das dadurch, dass man in der Stellung der Eisenstäbe gegen das Magnetstäbchen so viel Variationen macht als möglich.

Es stelle Fig. 52 die erste Stellung dar, für welche man die Ablenkung beobachtet hat, so erhält man eine entsprechende Ablenkung nach der

Fig. 52.

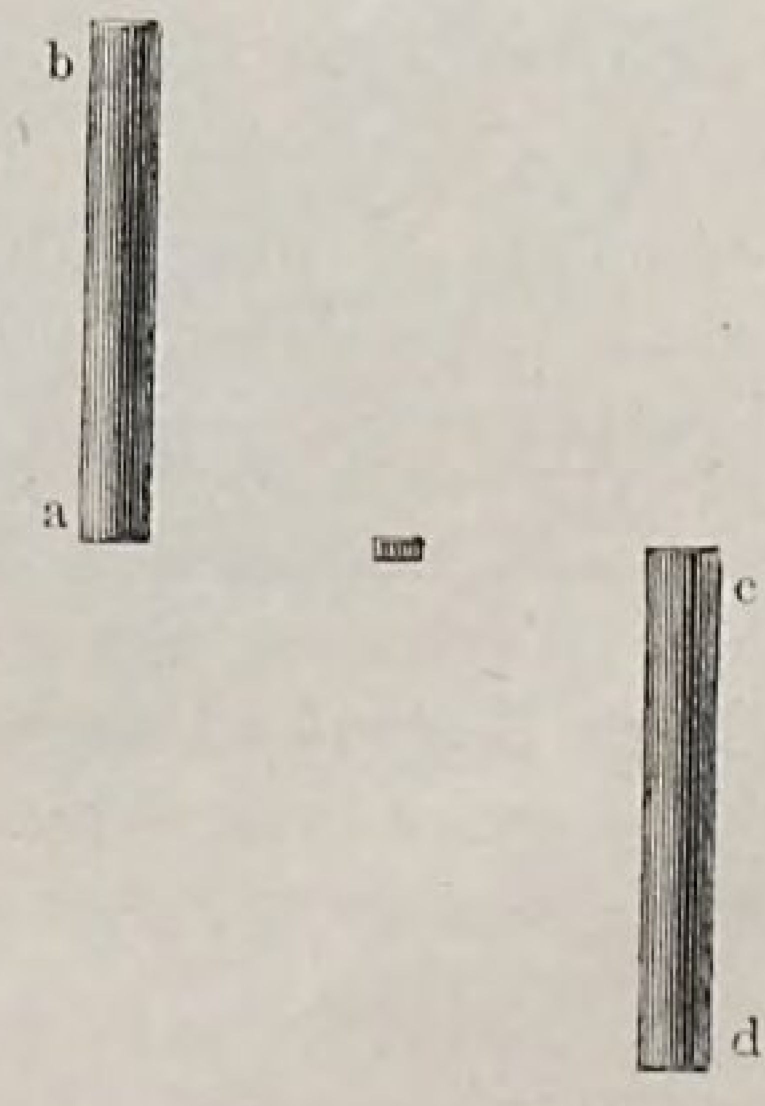
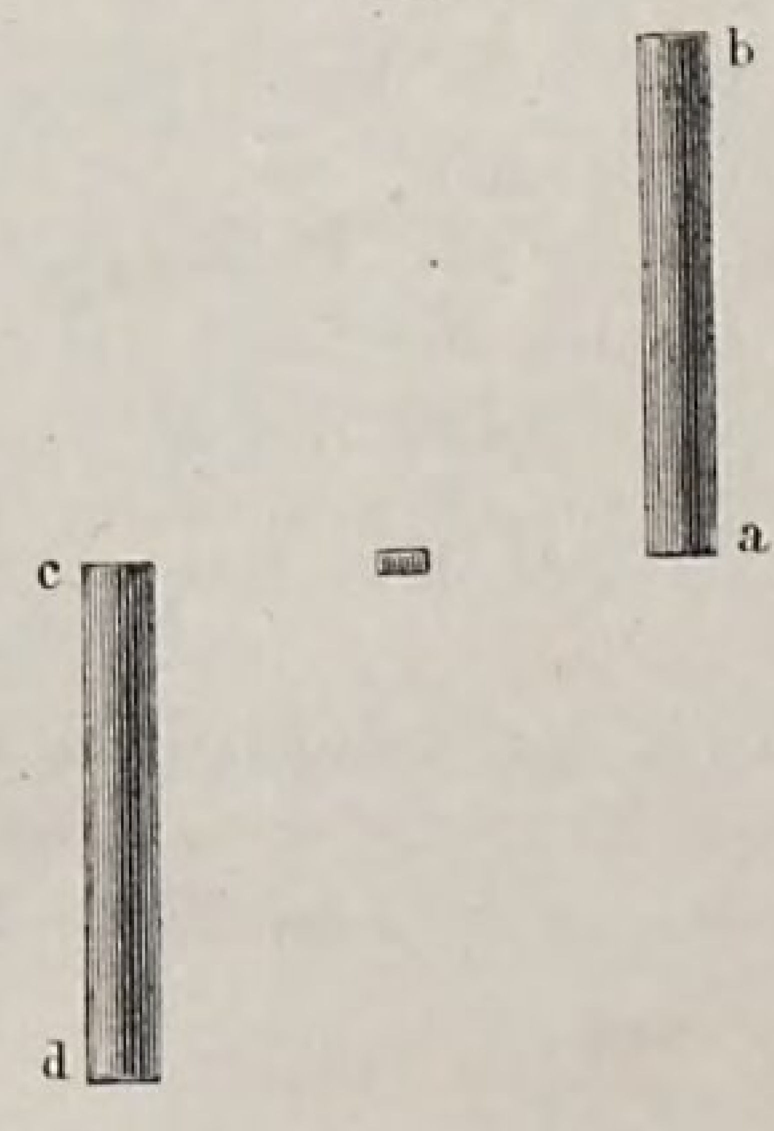


Fig. 53.



entgegengesetzten Seite, wenn man den Ring in seiner Ebene um 180⁰ dreht, so dass nun die Eisenstäbe in die Position Fig. 53 gegen die Magnetstäbchen kommen.

Kehrt man nun den Ring so um, dass die bisher untere Fläche die obere wird, so erhält man eine dritte Stellung der Eisenstäbe, Fig. 54,

Fig. 54.

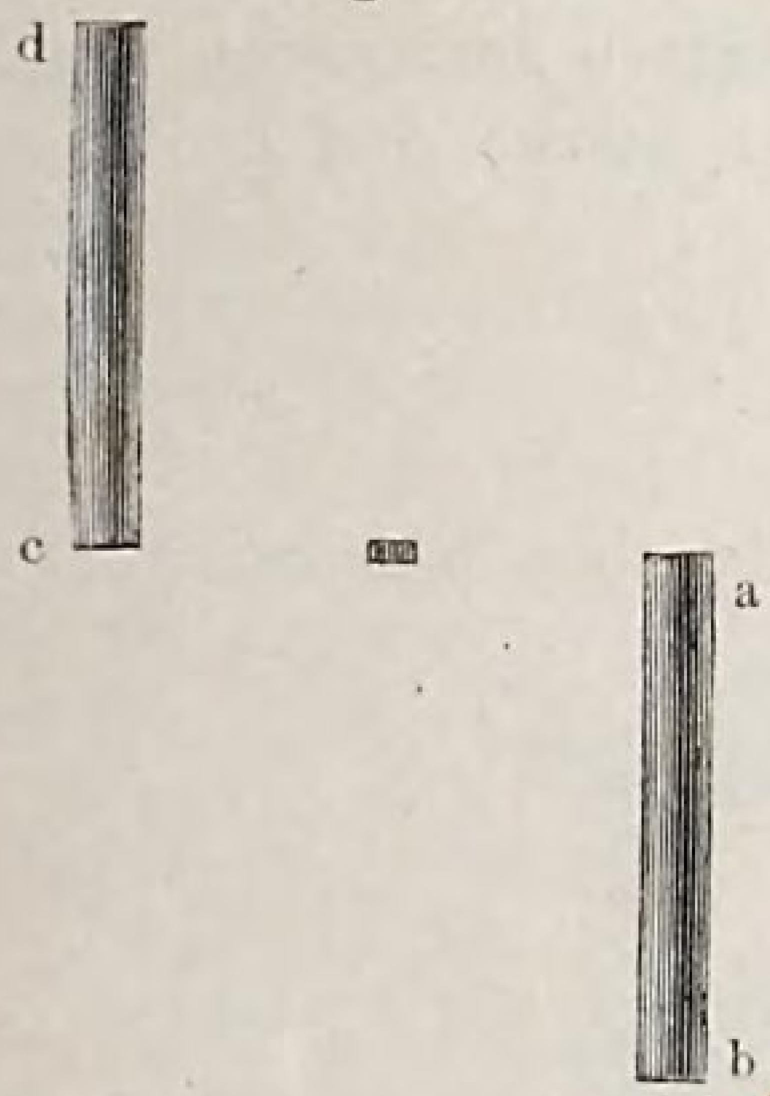
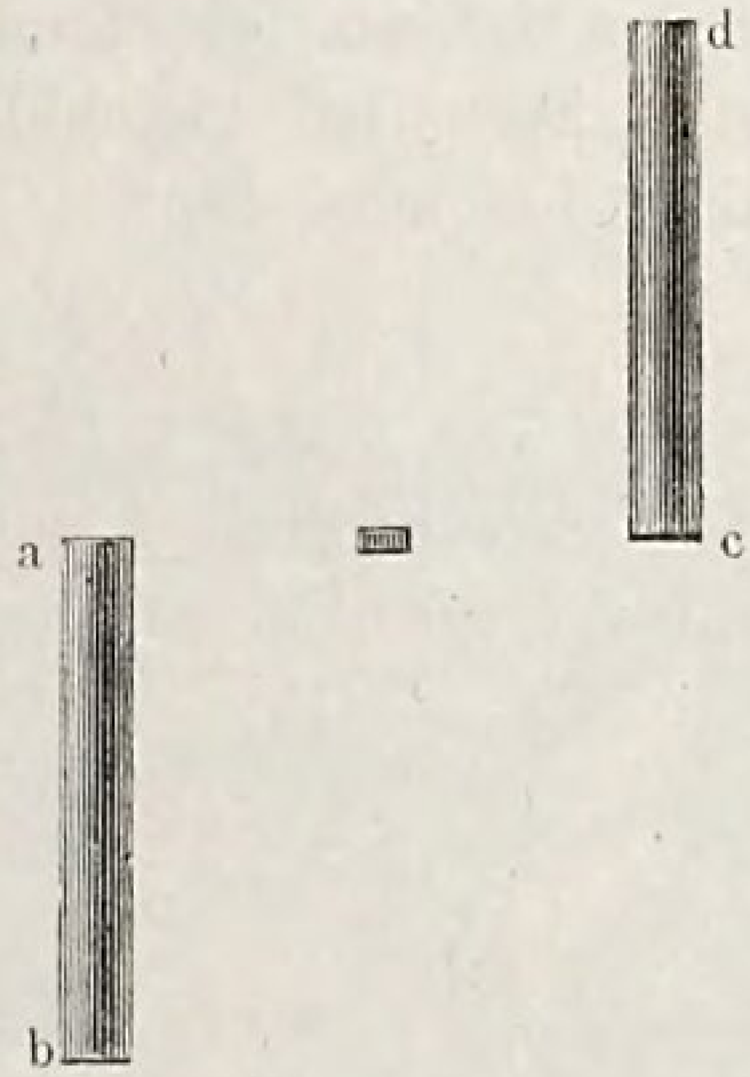


Fig. 55.



und eine vierte, Fig. 55, endlich, wenn man den Ring wieder in seiner Ebene um 180^0 dreht.

Bei diesen vier Stellungen waren die Eisenstäbe stets in gleicher Weise eingeklemmt; nun aber kann man jeden in seinem Halter umkehren, so dass die Stabenden *b* und *d* in die Horizontalebene des Magnetstäbchens kommen. Nach dieser Veränderung wiederholt man die Beobachtung in den eben besprochenen vier Stellungen und erhält so für die gesuchte Ablenkung acht Beobachtungen, aus denen man das Mittel nimmt.

Messung der magnetischen Kräfte. Die Tragkraft der 24
Magnete war das einzige rohe Mittel, welches man zur Vergleichung magnetischer Kräfte anwandte, bis Coulomb im Jahre 1780 genauere Methoden aufstellte und dadurch eine neue Bahn in der Wissenschaft eröffnete.

Coulomb wandte zwei verschiedene Mittel an, um die Stärke der Magnete zu messen. 1. Die Oscillationen einer an einem Seiden- oder Platinfaden aufgehängten Nadel; 2. die Drehung von Kupfer- oder Silberfäden in der Torsionswage, welche man nach ihm die Coulomb'sche Drehwage nennt.

I. Methode der Oscillationen. Wir haben schon in §. 21 gesehen, dass die beschleunigende Kraft, unter deren Einfluss eine Magnetnadel oder ein Magnetstab um seine Gleichgewichtslage oscillirt, dem Quadrat der Schwingungszahl proportional ist. Nun aber ist diese beschleunigende Kraft eine Function des Erdmagnetismus und des Stabmagnetismus, man kann demnach aus der Schwingungsdauer auf die

Variationen des Erdmagnetismus schliessen, wie es in §. 21 geschehen ist, wenn der Stabmagnetismus ungeändert bleibt, auf die Variationen des Stabmagnetismus aber bei constanter Intensität des Erdmagnetismus.

Es sei n die Anzahl der Schwingungen, welche ein Magnetstab, dessen magnetische Intensität wir mit f bezeichnen wollen, in einer Minute unter dem Einfluss des Erdmagnetismus macht, während n' und f' die entsprechenden Grössen für einen im Uebrigen ganz gleichen nur stärker magnetisirten Stab (bei gleichbleibender Stärke des Erdmagnetismus) bezeichnen, so hat man also

$$\frac{f}{f'} = \frac{n^2}{n'^2}.$$

Hätte z. B. der erste Stab 4, der zweite aber 6 Schwingungen in der Minute gemacht, so hätte man

$$\frac{f}{f'} = \frac{16}{36},$$

also

$$f' = f \cdot \frac{36}{16}.$$

II. Die Drehwage. Wenn ein Metallfaden durch ein angehängtes Gewicht in verticaler Richtung gespannt ist, so nimmt er eine bestimmte Gleichgewichtslage an. Wenn man den Draht durch Drehung aus dieser Gleichgewichtslage herausbringt, so erleidet er seiner ganzen Länge nach eine Torsion, eine Windung, in Folge deren er ein Bestreben hat, das Gewicht wieder in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen.

Coulomb hat zuerst die Torsionskraft studirt und, wie wir schon oben (Band I, Seite 91) gesehen haben, gefunden, dass die Kraft, mit welcher der Draht in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, der Grösse der Torsion proportional sei. Auf dieses Gesetz gründete er nun die Construction seiner Drehwage, mit Hilfe deren er die Gesetze der magnetischen und elektrischen Abstossung und Anziehung untersuchte.

Die Coulomb'sche Drehwage ist Fig. 56 dargestellt. Fig. 57 zeigt den oberen Theil in einem grösseren Maassstabe. Der verticale Cylinder, in welchem der Draht herabhängt, ist oben mit einer Messingfassung versehen, welche mit einem Ringe $s s'$ endet. Darauf passt eine in der Mitte durchbrochene Messingplatte $m m'$, welche sich mit sanfter Reibung um die verticale Axe des Cylinders drehen lässt. Der Ring $s s'$ ist an seinem äusseren Umfange in Grade getheilt, und die Scheibe $m m'$ hat einen Index, mittelst dessen man die Grösse der vorgenommenen Drehungen ablesen kann.

Am unteren Ende des Fadens hängt eine Art Bügel von Messing oder eine Hülse, in welche man die Magnetstäbe hineinlegt. Am Umfange des Kastens ist ein Papierstreifen aufgeklebt, welcher mit einer

Theilung versehen ist. Der Draht muss genau im Mittelpunkte dieser Theilung hängen.

Wenn das Instrument gehörig justirt ist, bestimmt man die Gleichgewichtslage des Fadens, indem man einen nicht magnetischen

Fig. 57.

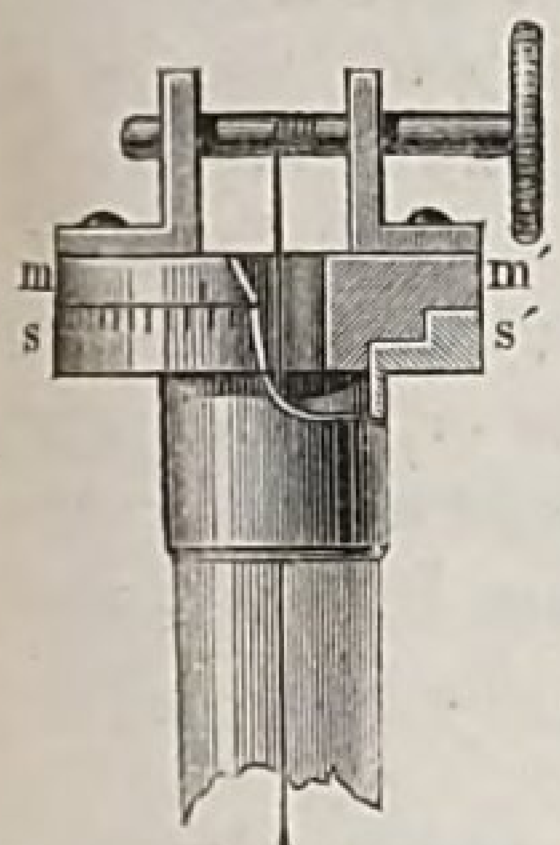


Fig. 56.

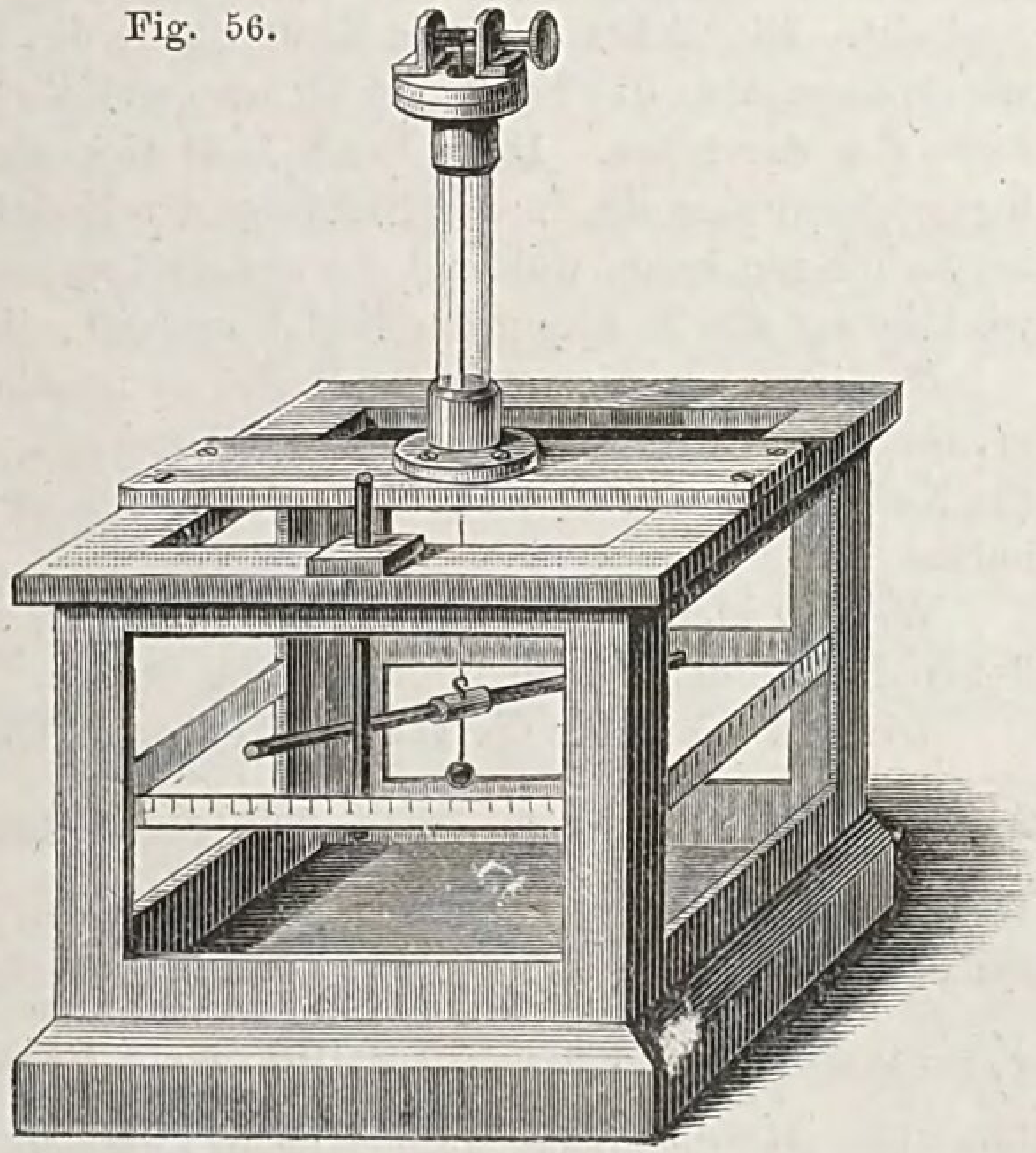
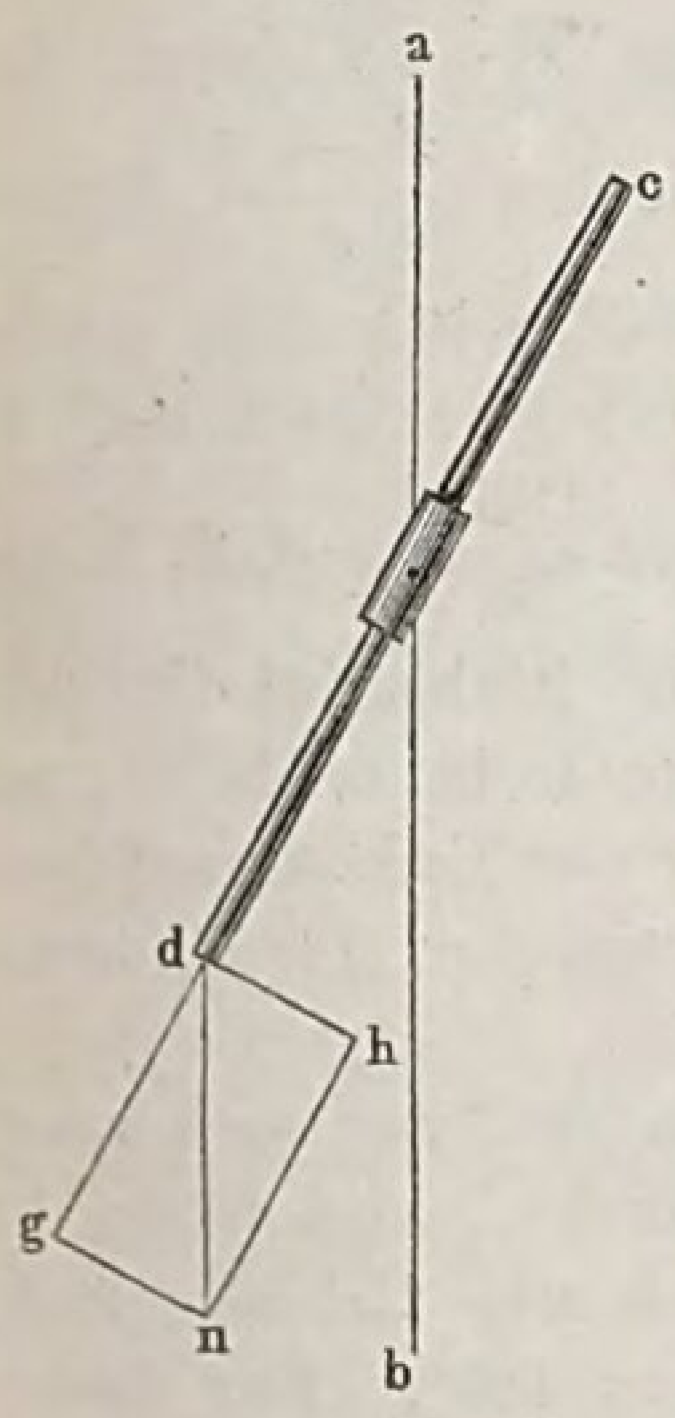


Fig. 58.



Stab in die Hülse steckt und den Kopf des Apparates so lange dreht, bis der Stab genau in dem magnetischen Meridian liegt; wenn man nun einen magnetisirten Stab in den Bügel legt, so wird er durch zwei Kräfte in dieser Lage zurückgehalten, durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus und durch den Faden, welcher bei dieser Lage ohne Torsion ist.

Wenn nun der Kopf des Apparates aus dieser Lage herausgedreht wird, so würde auch der Stab dieser Drehung folgen, wenn er nicht magnetisch wäre. Der Draht strebt den Stab in diejenige Lage zu bringen, bei welcher er ohne Torsion sein würde, der Erdmagnetismus aber zieht ihn in den magnetischen Meridian zurück; unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte nun muss der Stab irgend eine Zwischenlage annehmen, welche von dem Verhältnisse der beiden Kräfte abhängt.

Das Mikrometer, d. h. die Platte $m m'$, Fig. 57, sei um 180^0 gedreht und dadurch die Nadel um 20^0 vom magnetischen Meridian abgelenkt worden, so beträgt die Torsion des Fadens $180 - 20 = 160^0$. Wenn V die Drehung des Mikrometers, v die Ablenkung der Nadel ist, so ist die Torsion des Fadens $V - v$.

In Fig. 58 sei *ab* die Richtung des magnetischen Meridians, *cd* die Lage der aus dem magnetischen Meridian abgelenkten Nadel, so ist leicht zu ermitteln, mit welcher Kraft der Erdmagnetismus die Nadel in die Lage des magnetischen Meridians zurückzuführen strebt. Denken wir uns die ganze auf die Nadel wirkende magnetische Kraft in *d* applicirt. Die Richtung dieser Kraft ist die des magnetischen Meridians, wir können also die Kraft der Grösse und Richtung nach durch eine Linie *dn* darstellen. Diese Kraft lässt sich aber in zwei andere zerlegen, deren eine *dg*, in der Richtung der Nadel wirkend, keinen Effect hervorbringen kann, während die andere Componente *dh*, welche rechtwinklig auf die Richtung der Nadel angreift, dieselbe zu drehen strebt.

Bezeichnet m die totale Kraft *dn*, so ist die Componente *dh* gleich $m . sin\,v$, und dieser Kraft muss die Torsionskraft des Fadens, welche die Nadel nach der anderen Seite zu drehen strebt, das Gleichgewicht halten.

Wenn v klein, d. h. wenn es unter 20^0 ist, so kann man ohne merklichen Fehler den Bogen für den Sinus setzen.

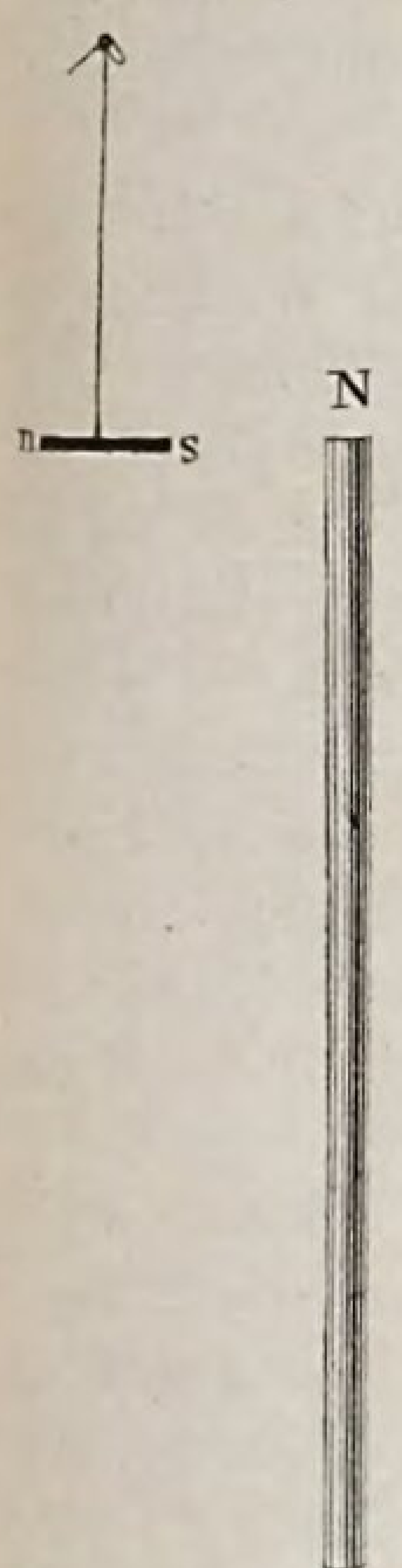
Dividirt man den Torsionswinkel des Fadens $V - v$ durch den Ablenkungswinkel v, so erhält man einen Quotienten $\frac{V - v}{v}$, dessen Werth angiebt, wie viel Grade die Torsion des Fadens betragen müsse, um den Stab um 1^0 abzulenken. Für den vorhin betrachteten Fall ist $V - v = 160$ und $v = 20$, mithin jener Quotient $\frac{160}{20} = 8$, d. h. bei dem eben stattfindenden magnetischen Zustande des Stabes ist die Torsionskraft des Fadens für eine Drehung von 8^0 gerade hinreichend, um der Kraft das Gleichgewicht zu halten, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, wenn er einen Winkel von 1^0 mit diesem Meridian macht.

Nehmen wir an, derselbe Stab, mit welchem der vorige Versuch angestellt worden war, sei stärker magnetisirt worden, man hätte das Mikrometer um 495^0 drehen müssen, da der Stab um 15^0 abgelenkt wird, so wäre die Torsion des Fadens $495 - 15 = 480^0$. Für diesen Fall ist die Torsion des Fadens, welche einer Ablenkung von 1^0 entspricht, $\frac{480}{15} = 32^0$. In dem letzteren Falle war also die magnetische Kraft des Stabes 4 mal so gross als im ersteren.

25 **Gesetz der magnetischen Anziehungen und Abstossungen.** Die Intensität, mit welcher zwei Magnetpole sich gegenseitig anziehen und abstossen, ist dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional. Dieses Fundamentalgesetz des Magnetismus war schon früher von einigen Physikern vermuthet worden, allein Coulomb hat die Richtigkeit desselben zuerst mit Hilfe der beiden oben angeführten Methoden nachgewiesen.

1. Durch Oscillationen. Eine kleine Magnetnadel wird an einem Coconfaden so aufgehängt, dass sie in horizontaler Ebene frei oscilliren kann, aber vor störenden Luftströmungen hinlänglich geschützt ist. Diese Nadel lässt man zuerst unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren. Es sei n die beobachtete Zahl der Schwingungen in einer Minute, f der horizontale Theil der magnetischen Erdkraft, welche auf sie wirkt.

Fig. 59.



Nun lässt man den einen Pol eines möglichst stark magnetisirten Stahlstabes auf die Nadel wirken. Dieser Stahlstab wird in den magnetischen Meridian der Nadel ns, Fig. 59, gebracht und zwar in verticaler Stellung, so dass dem Pol s der Nadel derjenige Pol N des Stabes zugekehrt ist, auf welchen er anziehend wirkt.

Der Stab NS muss so gross sein, dass die Entfernung sN sehr klein ist im Vergleich zur Entfernung sS, dass man also die Wirkung des Pols S auf s ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann.

Bezeichnen wir mit n' die Zahl der Schwingungen der Nadel für den Fall, dass der Pol N des Stabes NS aus einer bestimmten Entfernung auf die Nadel wirkt, und mit f' die Kraft, welche nun die oscillirende Nadel beschleunigt, so hat man im Vergleiche mit dem vorigen Versuche

$$\frac{f'}{f} = \frac{n'^2}{n^2}.$$

Hätte die Nadel unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in einer Minute gemacht, hingegen 41, wenn der Pol N des Stabes sich 10 cm weit von der Mitte der Nadel befindet, so hätte man

$$\frac{f'}{f} = \frac{41^2}{15^2}.$$

Man bringt nun den Stab in die doppelte Entfernung, so dass N 20 cm weit von der Nadel ist und beobachtet abermals die Zahl der Oscillationen; gesetzt, man fände ihre Anzahl in einer Minute $n'' = 24$, so ist, wenn man mit f'' die in diesem Falle auf die Nadel wirkende Kraft bezeichnet,

$$\frac{f''}{f} = \frac{24^2}{15^2}.$$

Die Grösse f' ist offenbar die Summe der erdmagnetischen Kraft und der anziehenden Kraft, welche der Pol N aus einer Entfernung von 10 cm auf die Nadel ausübt; letztere ist also offenbar $f' - f$. Ebenso ist die anziehende Kraft, welche der Stab aus einer Entfernung von

20 cm auf die Nadel ausübt, $f'' - f$. Durch die Combination der beiden letzten Gleichungen ergiebt sich aber

$$\frac{f' - f}{f'' - f} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4{\cdot}1.$$

Dieser Versuch zeigt also, dass die anziehende Kraft eines magnetischen Pols in doppelter Entfernung wirklich nahe viermal schwächer wird.

2. Mit der Drehwage. Auch für diese Versuche muss man lange magnetische Stahlstäbe oder Drähte anwenden, damit die Wirkung des einen Pols gegen die des anderen verschwindend werden könne. Coulomb's Stäbe waren 56 cm lang, hatten 1 bis 2 mm Durchmesser und waren möglichst stark magnetisch. Ein solcher Stab wurde in den Bügel der Drehwage Fig. 56 gebracht, also horizontal aufgehängt; ein vorläufig angestellter Versuch ergab, dass eine Torsion von 35° nöthig war, um den Magnetstab 1° aus dem Meridian abzulenken. Nun wurde ein zweiter Stab von oben in verticaler Richtung in den Kasten hineingesteckt und zwar so, dass der nach unten gekehrte Pol den zunächst liegenden des horizontalen Stabes abstiess. Der horizontale Magnetstab kam in einer Lage zur Ruhe, welche einen Winkel von 24° mit dem magnetischen Meridian machte.

Bei dieser Lage des hängenden Stabes sind es zwei Kräfte, welche ihn in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben, die Erdkraft und eine Torsion des Fadens von 24°. Da aber für jeden Grad Ablenkung die Kraft, welche den Stab in den Meridian zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 35° gleich ist, so ist die Componente der Erdkraft, welche bei einer Ablenkung von 24° die Nadel zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft 24.35 oder 840° gleich, wozu noch die 24°, d. h. die Torsion, welche der Faden wirklich hat, addirt werden müssen. Die Totalkraft ist also 864°.

Nun wurde das Mikrometer so gedreht, dass durch die Torsion des Fadens die horizontale Nadel dem Stabe näher kam. Die Drehung betrug 3 mal 360, also 1080°, und dadurch wurde die Nadel auf 17° dem magnetischen Meridian genähert. Dann wurde das Mikrometer noch um 5 mal 360° gedreht, so dass also jetzt die Totalumdrehung 2880° betrug. Dadurch wurde der horizontale Stab dem verticalen auf 12° genähert.

Für die zweite Stellung war das Aequivalent der Erdkraft eine Torsion von $17 \times 35 = 595$ Graden. Addirt man dazu die wirkliche Torsion des Fadens $1080 + 17 = 1097°$, so erhält man eine Torsionskraft von 1692° als Maass für die abstossende Kraft, welche der untere Pol des eingeschobenen Magneten ausübt.

Auf dieselbe Weise findet man für die dritte Lage die abstossende Kraft gleich der Torsionskraft von 3312°.

Die Entfernungen der beiden einander abstossenden Pole verhalten sich also in diesen Versuchen wie 24 : 17 : 12, die entsprechenden abstossenden Kräfte aber wie 864 : 1692 : 3312, welch letztere Zahlen sich

zu einander sehr nahe umgekehrt verhalten wie die Quadrate der ersteren.

Totalwirkung eines feststehenden Magnetstabes auf eine drehbare Magnetnadel. Das eben bewiesene Gesetz bezieht sich streng genommen nur auf die Anziehung und Abstossung der magnetischen Elemente. Die Gesammtwirkung eines magnetischen Körpers verhält sich aber ganz anders. Die eben angeführten Versuche stellten auch nur deshalb das Gesetz wenigstens annäherungsweise heraus, weil die Anordnung so getroffen war, dass der eine Pol des zu prüfenden Magnets in so grosser Entfernung war, dass er die Wirkung des anderen nicht wesentlich modificiren konnte. Ist jedoch diese Bedingung nicht erfüllt, so stellen sich ganz andere Resultate heraus, und wenn die Entfernungen gross genug sind gegen die Dimensionen des Magnets, so verhalten sich die Totalwirkungen desselben sehr nahe umgekehrt wie die dritten Potenzen der Entfernungen. 26

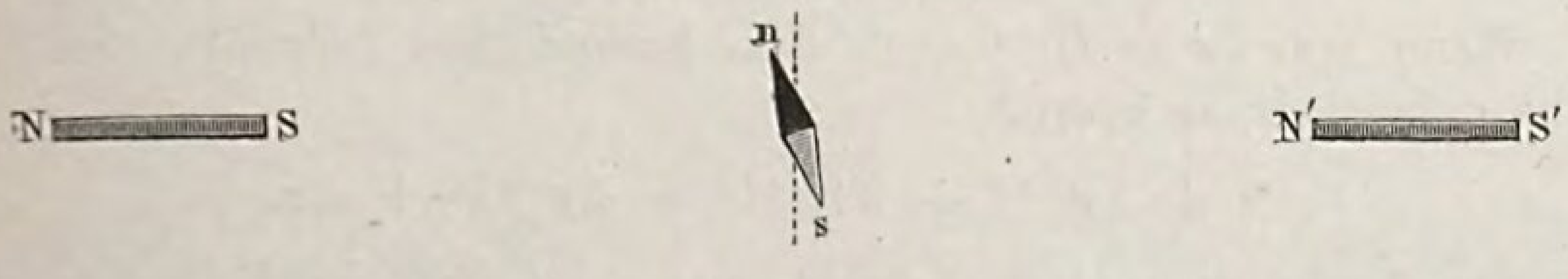
Dieses Gesetz der Totalwirkung eines Magnets ergiebt sich als nothwendige Folge daraus, dass die Wirkung der magnetischen Elemente auf einander im Verhältniss des Quadrats der Entfernung abnimmt. Gauss hat diesen Gegenstand ganz allgemein entwickelt und Formeln gegeben, nach welchen sich die gegenseitige Einwirkung zweier Magnete für jede beliebige gegenseitige Lage berechnen lässt. Für uns sind jedoch zwei specielle Lagen von besonderer Wichtigkeit, und wir wollen deshalb auch nur diese betrachten.

Ein Magnetstab und eine nur um eine verticale Axe drehbare Magnetnadel sollen sich in derselben Horizontalebene befinden.

Als „Erste Hauptlage“ bezeichnen wir dann nach Gauss diejenige (in Fig. 60 dargestellte), bei welcher der Magnetstab rechtwinklig

Fig. 60.

Erste Hauptlage.



zum magnetischen Meridian steht und gegen den Drehungspunkt der Nadel gerichtet ist.

Als „Zweite Hauptlage“, Fig. 61 (a. f. S.), bezeichnen wir jene, bei welcher der Stab ebenfalls senkrecht auf dem magnetischen Meridian, jedoch so gestellt ist, dass die durch den Drehungspunkt der Nadel gezogene magnetische Meridianlinie seine Mitte trifft.

Bei beiden Hauptlagen sind noch vier specielle Fälle zu unterscheiden, je nachdem der Stab die Lage NS oder die Lage $N'S'$ hat oder dieselben Lagen mit entgegengesetzten Polen einnimmt, wobei dann die Ablenkung der Nadel eine entgegengesetzte wird.

Wir setzen voraus, dass Magnetstab und Magnetnadel symmetrisch und regelmässig magnetisirt seien, und dass die Entfernung ihrer Mittelpunkte sehr gross sei im Verhältniss zu den Längen der Magnete.

Fig. 61.

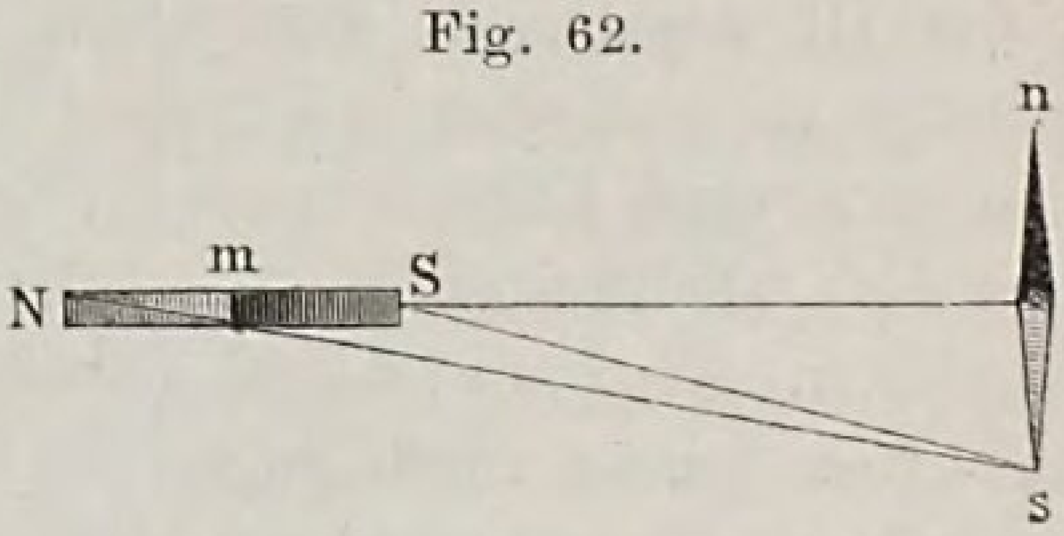
Zweite Hauptlage.



Untersuchen wir nun die Totalwirkung in der Ersten Hauptlage.

Wenn q die Kraft ist, mit welcher der Pol N (Fig. 62) den Pol s aus der Entfernung 1 anzieht,

Fig. 62.



so ist seine anziehende Kraft für die Entfernung Ns (angenähert) gleich $\frac{q}{(r + l)^2}$, wenn mit r die Entfernung ms und mit l die halbe Länge des Magnets NS bezeichnet wird; die abstossende Kraft aber, mit welcher S auf s wirkt, ist demnach (angenähert) gleich $\frac{q}{(r - l)^2}$. Wenn ns klein ist im Vergleich zu der Entfernung des Magnetstabes NS, so kann man ohne merklichen Fehler die Richtung der beiden auf s wirkenden Kräfte als gleich und rechtwinklig auf ns annehmen. Demnach ist die Totalkraft, mit welcher der Magnet NS auf s wirkt,

$$F = \frac{q}{(r - l)^2} - \frac{q}{(r + l)^2} = q\,[(r - l)^{-2} - (r + l)^{-2}].$$

Wenn man $(r - l)^{-2}$ nach dem binomischen Lehrsatze in eine Reihe entwickelt, so kommt

$$r^{-2} + 2r^{-3}l + 3r^{-4}l^2 + 4r^{-5}l^3 + \text{etc.}$$

Der Ausdruck $(r + l)^{-2}$ giebt eine ganz ähnliche Reihe, welche sich von dieser nur dadurch unterscheidet, dass alle Glieder, welche mit ungeraden Potenzen von l behaftet sind, das entgegengesetzte Zeichen haben; wenn man also die Reihe für $(r + l)^{-2}$ abzieht von der Reihe für $(r - l)^{-2}$, so fällt r^{-2} weg, und ebenso alle Glieder, welche mit geraden Potenzen von l behaftet sind, während sich die anderen summiren, man erhält auf diese Weise

$$F = 4lqr^{-3} + 8l^3qr^{-5} + \text{etc.} = \frac{4lq}{r^3} + \frac{8l^3q}{r^5} + \text{etc.}$$

Wenn man alle folgenden Glieder der Reihe gegen das erste ver-

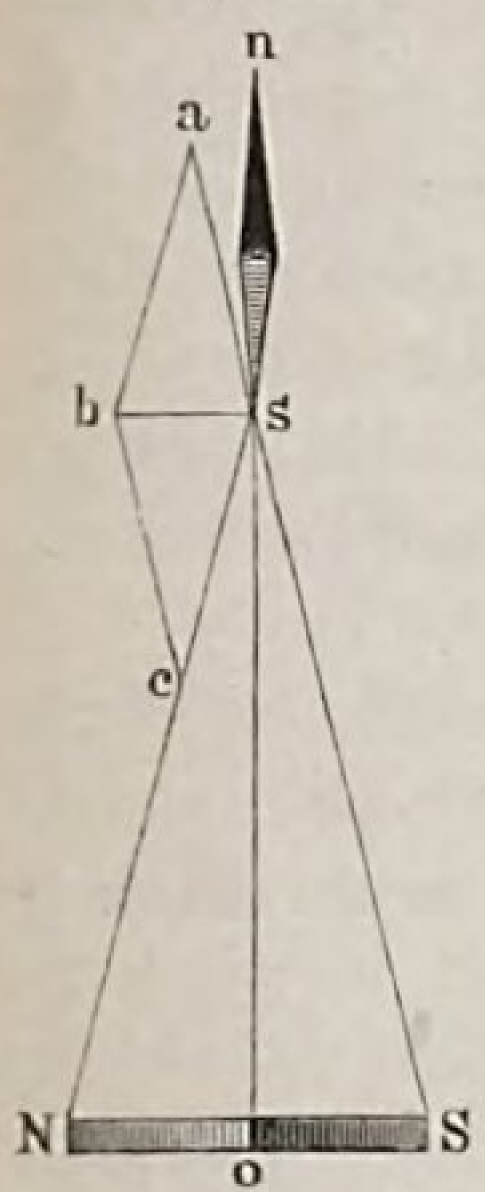
nachlässigt, was um so mehr erlaubt ist, je mehr r im Vergleich zu l wächst, so hat man also

$$F = \frac{4lq}{r^3}.$$

Suchen wir jetzt die Totalwirkung für die Zweite Hauptlage.

Der Pol S, Fig. 63, stösst den Pol s ab, und zwar in der Richtung sa. Bezeichnen wir mit q die abstossende Kraft, welche diese beiden Pole in der Entfernung 1 auf einander ausüben, so ist $\frac{q}{r^2}$ die abstossende Kraft, welche sie wirklich auf einander ausüben, wenn ihre Entfernung mit r bezeichnet wird.

Fig. 63.



Die Kraft $\frac{q}{r^2}$, mit welcher der Pol S den Pol s abstösst, kann durch die Linie sa dargestellt werden.

Der Pol N wirkt anziehend auf s, und zwar zieht er ebenso stark an, wie S abstösst, weil S und N gleich weit von s entfernt sind; die anziehende Kraft kann also durch die Linie sc dargestellt werden. Nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte ergiebt sich sb als Resultirende der beiden Kräfte sa und sc. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke NSs und bsa aber ergiebt sich die Proportion

$$Ss : SN = sa : sb.$$

Da nun $Ss = r$, $sa = \frac{q}{r^2}$ ist, so geht jene Proportion über in

$$r : 2l = \frac{q}{r^2} : f,$$

wenn wir mit f den Werth der Resultirenden sb, d. h. die Totalwirkung des Magnets SN auf den Pol s, und mit l die halbe Länge des Magnets NS bezeichnen; daraus ergiebt sich

$$f = \frac{2lq}{r^3}.$$

Vergleichen wir diesen Werth f mit dem für die erste Hauptlage gefundenen, so ergiebt sich

$$F = 2f.$$

Alle vernachlässigten Glieder haben zum Nenner eine Potenz von r, welche höher ist als die dritte.

Gehen wir nun zu den Versuchen über, welche Gauss anstellte, um zu zeigen, dass sich die Totalwirkung eines Magnets in die Ferne wirklich nahe umgekehrt wie die dritte Potenz seiner Entfernung verhält.

Für den Magnet ns wurde ein Magnetometerstab angewandt, wie wir ihn schon oben (S. 37) kennen gelernt haben. Südlich von demselben wurde ein anderer ähnlicher Magnetstab gelegt wie NS, Fig. 61,

so dass er also rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stand. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Magnete fiel mit dem magnetischen Meridian zusammen. Durch die Einwirkung des Stabes NS wurde das Magnetometer abgelenkt, und da der Ablenkungswinkel klein ist, so kann man recht gut die Grösse dieses Winkels für ein Maass der Kraft nehmen, mit welcher der Magnet NS das Magnetometer zu drehen strebt. Bezeichnen wir den Ablenkungswinkel mit v. Der einer bestimmten Entfernung beider Stäbe entsprechende Werth von v wurde jedoch nicht durch einen, sondern als Mittel aus vier Versuchen bestimmt, welche den oben erwähnten vier speciellen Fällen entsprechen.

Bei der Fig. 61 dargestellten Lage wird der Pol s nach der linken Seite hin abgelenkt werden. Kehrt man aber den Magnet NS so um, dass N dahin zu liegen kommt, wo jetzt S ist, und S dahin, wo jetzt N ist, so wird eine ebenso grosse Ablenkung nach der rechten Seite erfolgen.

Nachdem die Ablenkungen für die beiden eben erwähnten Lagen ermittelt waren, wurde der Magnetstab in der nämlichen Weise in gleicher Entfernung nördlich vom Magnetometer placirt, und zwar einmal so, dass der Pol N östlich, und dann so, dass derselbe Pol westlich lag; dadurch wurde das Magnetometer wieder einmal östlich und einmal westlich abgelenkt. Aus diesen vier Beobachtungen wurde das Mittel genommen.

Die Tabelle enthält die Resultate einer nach der angegebenen

r	Zweite Hauptlage v	Erste Hauptlage v'	$r^3\ v$ in Secunden
1·1 m	1° 57′ 24·8″		9377
1·2	1 29 40·5		9298
1·3	1 10 19·3	2° 13′ 51·2″	
1·4	0 55 58·9	1 47 28·6	
1·5	0 45 14·3	1 27 19·1	9161
1·6	0 37 12·2	1 12 7·6	
1·7	0 30 57·9	1 0 9·9	
1·8	0 25 59·5	0 50 52·5	
1·9	0 22 9·2	0 43 21·8	
2·0	0 19 1·6	0 37 16·2	9133
2·1	0 16 24·7	0 32 4·6	9119
2·5	0 9 36·1	0 18 51·9	9002
3·0	0 5 33·7	0 11 0·7	9010
3·5	0 3 28·9	0 6 56·9	8957
4·0	0 2 22·2	0 4 35·9	9101

Methode für verschiedene Entfernungen angestellten Versuchsreihe. In der ersten Columne unter r ist immer die Entfernung der Aufhängungsaxe des Magnetometers von dem Mittelpunkte des Stabes NS in Metern angegeben, die zweite Columne unter v enthält die entsprechenden Ablenkungen.

Eine zweite Versuchsreihe wurde gemacht, indem man den ablenkenden Stab in die Lage NS, Fig. 60, gegen den Magnetometerstab brachte. Auch bei dieser Versuchsreihe wurde der jeder Entfernung entsprechende Ablenkungswinkel nicht aus einem, sondern als Mittel aus vier Versuchen bestimmt. Bei der Lage, wie sie Fig. 60 dargestellt ist, erhält man eine westliche Ablenkung; dann wurde der Magnet so umgekehrt, dass N an die Stelle von S und S an die Stelle von N kam; dadurch erhielt man eine entsprechende östliche Ablenkung. Nun wurde der Magnet ebenso weit ostwärts vom Magnetometer placirt, und zwar wurde einmal N nach Osten, einmal nach Westen gekehrt, und so erhielt man abermals eine östliche und eine westliche Ablenkung. Aus den vier so beobachteten Ablenkungen wurde das Mittel genommen. Die obige Tabelle enthält in der dritten Columne unter v' die Mittelwerthe der Ablenkungen, wie sie bei dieser Versuchsweise für die verschiedenen Entfernungen gefunden wurden.

Wenn nun die dritten Potenzen von r den Ablenkungen v verkehrt proportional sein sollen, so müssen die Producte $r^3 v$ stets gleich gross ausfallen. In der vierten Columne obiger Tabelle sind einige dieser Producte berechnet. Wie man sieht, stimmen dieselben, mit Ausnahme jener für die kürzeren Distanzen, nahe überein. Dasselbe ergiebt sich auch, wenn man die Zahlen der dritten Columne mit denen der ersten vergleicht. Wir sehen daraus, dass die Totalwirkung eines Magnets auf Entfernungen, die einigermaassen gross sind gegen seine Dimensionen, sich wirklich sehr nahe umgekehrt verhalten wie die dritten Potenzen dieser Entfernungen, also gerade so, wie es sich als Folgerung aus der Annahme ergiebt, dass die Wirkung jedes Poles (oder besser ausgedrückt, jedes magnetischen Elementes) sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung.

Nach den obigen Entwickelungen ist

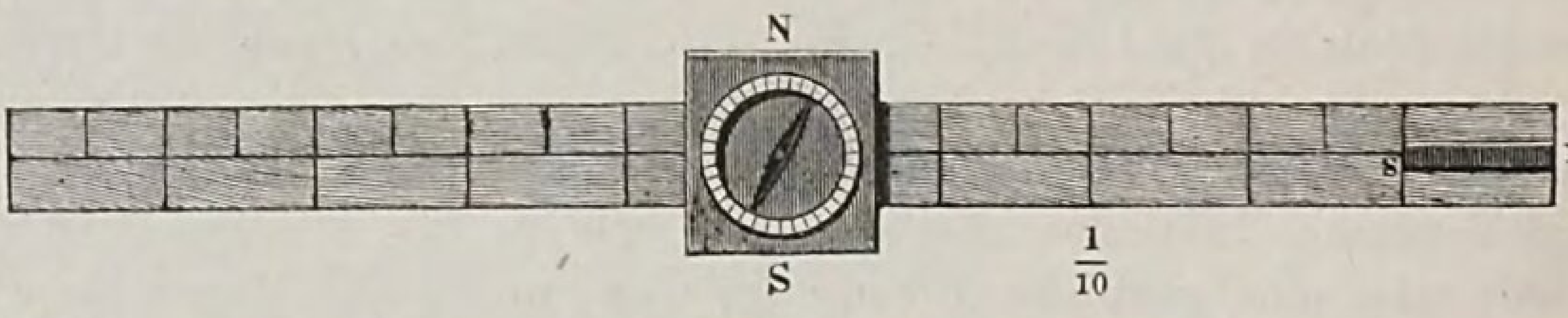
$$F = 2f,$$

und in der That sind die Zahlen der dritten Columne stets sehr nahe doppelt so gross als die entsprechenden Zahlen der zweiten.

Die Versuche über die Totalwirkung der Magnete lassen sich auch ohne Magnetometer nach W. Weber's Angaben mit einer gewöhnlichen Bussole, die nur in ganze Grade getheilt ist, anstellen, da man noch 10tel Grade schätzen kann. Die Bussole wird auf die Mitte eines etwas breiten Maassstabes gesetzt, der nur in Decimeter getheilt zu sein braucht. Der Maassstab ist 1 m lang. Bei der einen Versuchsreihe wird der Maass-

stab rechtwinklig auf den magnetischen Meridian gelegt, wie Fig. 64 zeigt. Der Magnetstab *ns*, den man zu den Ablenkungsversuchen anwendet, ist am besten genau 1 dcm lang. Wie ihn die Fig. 64 zeigt, ist die Entfernung seiner Mitte vom Mittelpunkte der Nadel 450 mm;

Fig. 64.



ausserdem beobachtete Weber noch die Ablenkung für die Entfernungen 350 mm und 300 mm. Es versteht sich von selbst, dass für jede Entfernung auf die schon angegebene Weise vier Versuche gemacht und aus deren Ergebniss das Mittel genommen wurde.

Für die zweite Versuchsreihe, Fig. 65, legt man den Maassstab in die Richtung des magnetischen Meridians und den ablenkenden Magneten rechtwinklig auf denselben. Wiederholt man nun die Versuche, so wird man finden, dass die Ablenkungen jetzt sehr nahe halb so gross sind, als man in der ersten Versuchsreihe für dieselbe Entfernung gefunden hatte.

Zum Behufe magnetischer Intensitätsbestimmungen hat Weber die Ablenkungen für die in Fig. 64 dargestellte Anordnung in den Entfernungen 450, 350 und 300 mm beobachtet. Die Versuche gaben die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate:

r	*v*	*tang v*
0·45 m	11° 24′ 0″	0·20163
0·35	23 28 50	0·43440
0·30	35 17 25	0·70779

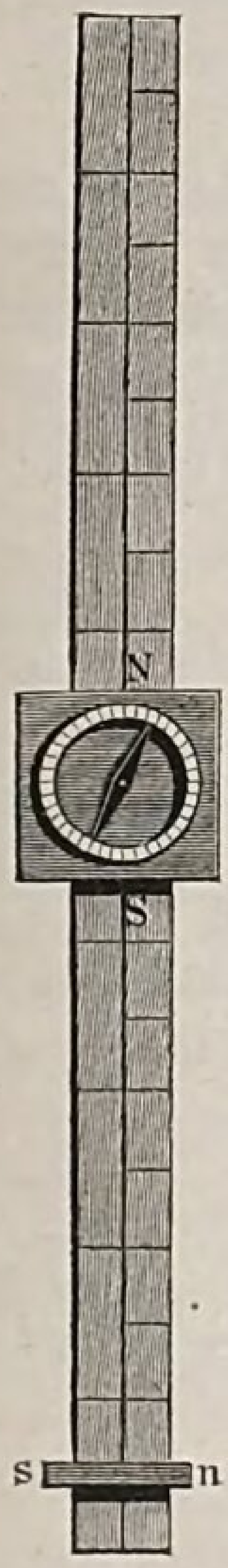
Die unter *v* stehenden Ablenkungen sind das Mittel aus je vier Versuchen.

Es versteht sich von selbst, dass die Grösse der Ablenkung von der Individualität des Ablenkungsmagnets abhängt. Wäre der Magnet *ns* schwächer magnetisirt gewesen, so wären die Ablenkungen geringer ausgefallen.

Diese Resultate bestätigen nun vollkommen unsere oben gemachten Schlüsse über die Totalwirkung von Magneten. Nach den auf S. 62

gemachten Entwickelungen hat der Werth für die Totalwirkung eines Magnets die Form

Fig. 65.



$$F = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5} + \text{etc.}$$

Bei den Gauss'schen Versuchen war die Ablenkung so klein, dass man ohne merklichen Fehler den Ablenkungswinkel für das Maass der ablenkenden Kraft nehmen konnte; bei diesen Versuchen aber ist der Ablenkungswinkel so gross, dass man diese Annahme nicht mehr machen darf. Wie wir früher gesehen haben, ist die Kraft, womit der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzudrehen strebt, $c . \sin v$; durch ein ganz ähnliches Raisonnement ergiebt sich aber auch, dass, wenn F das Drehungsmoment ist, mit welchem der Ablenkungsstab auf die Nadel wirkt, wenn sie im magnetischen Meridian steht, dass alsdann $F . \cos v$ das vom Stabe her auf die Nadel wirkende Drehungsmoment sei, wenn die Nadel einen Winkel v mit dem magnetischen Meridian macht. Für den Fall des Gleichgewichts aber ist

$$c . \sin v = F . \cos v,$$

und daraus

$$\frac{F}{c} = \operatorname{tang} v$$

$$F = c . \operatorname{tang} v,$$

woraus man ersieht, dass die ablenkende Kraft des Magnets nicht dem Ablenkungswinkel, sondern der Tangente des Ablenkungswinkels proportional ist; wir können also die Tangente des Ablenkungswinkels als Maass für die Kraft des ablenkenden Magnets ansehen; für die Tangente des Ablenkungswinkels gilt also auch Alles, was von der ablenkenden Kraft selbst gesagt wurde, und wir haben also

$$\operatorname{tang} v = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5} + \text{etc.}$$

Je mehr nun r wächst, desto mehr nähert sich der Werth von $\operatorname{tang} v$ dem Werthe $\frac{x}{r^3}$. Multiplicirt man auf beiden Seiten mit r^3, so kommt

$$r^3 \operatorname{tang} v = x + \frac{y}{r^2} + \text{etc.}$$

Aus dieser Gleichung sieht man, dass, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit der dritten Potenz der Entfernung multiplicirt, ein

Product herauskommen müsse, welches sich um so mehr einem Gränzwerthe x nähert, je grösser r wird, d. h. für sehr grosse Werthe von r ist das Product $r^3 \, tang \, v$ stets gleich x, wie sich der Werth von r auch ändern mag. Je kleiner aber r wird, desto mehr Einfluss bekommt das Glied $\frac{y}{r^2}$.

Bei den eben angeführten Weber'schen Versuchen ist nun r von solcher Grösse, dass es noch einen sehr merklichen Einfluss auf das Product $r^3 \, tang \, v$ ausübt. Aus den angeführten Weber'schen Versuchen berechnet man folgende Werthe von $r^3 \, tang \, v$:

0·018374000	für	die	Entfernung	0·45 m
0·018625000	„	„	„	0·35 „
0·019110000	„	„	„	0·30 „

Wir sehen also, dass für kleinere r jenes Product immer grösser wird.

Für die folgenden Bestimmungen der Intensität des Erdmagnetismus ist es von der grössten Wichtigkeit, den Gränzwerth zu ermitteln, dem sich das Product $r^3 \, tang \, v$ immer mehr nähert, je grösser r wird.

Für die Entfernung 450 mm ist der Werth von $tang \, v$ gleich 0·20163, wenn wir nun die beiden ersten Glieder im Werthe von $tang \, v$ berücksichtigen, so hat man die Gleichung

$$0{\cdot}20163 = \frac{x}{0{\cdot}45^3} + \frac{y}{0{\cdot}45^5} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

für die Entfernung 300 mm ist der Werth von $tang \, v$ gleich 0·70779, es ist also

$$0{\cdot}70779 = \frac{x}{0{\cdot}3^3} + \frac{y}{0{\cdot}3^5} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Aus diesen beiden Gleichungen lässt sich nun der Werth von x bestimmen, man findet

$$x = 0{\cdot}017784.$$

Dies würde genau der Gränzwerth sein, dem sich das Product $r^3 \, tang \, v$ um so mehr nähert, je grösser r wird, wenn die Versuche ganz frei von Beobachtungsfehlern wären. In diesem Falle müsste man auch genau denselben Werth von x finden, wenn man den ersten und zweiten Versuch in der Weise verbindet, wie wir es eben für den ersten und dritten gethan haben. Für die Entfernung 0·35 m ist der Werth von $tang \, v$ gleich 0·4344; dies giebt die Gleichung

$$0{\cdot}4344 = \frac{x}{0{\cdot}35^3} + \frac{y}{0{\cdot}35^5}.$$

Combinirt man diese Gleichung mit der Gleichung 1), so kommt

$$x = 0{\cdot}01799.$$

Combinirt man auf dieselbe Weise den zweiten und dritten Versuch, so kommt

$$x = 0{\cdot}01731.$$

Einen wahrscheinlicheren Werth von x erhält man, wenn man aus jenen drei Werthen das Mittel nimmt, man findet auf diese Weise

$$x = 0{\cdot}017667.$$

Weber hat nach der Methode der kleinsten Quadrate auf eine genauere Weise diesen Werth berechnet und 0·01753 gefunden, was mit unserem Resultate nahe zusammenfällt.

Der Gränzwerth von $r^3 tang\, v$, den wir das reducirte Drehungsmoment nennen wollen, ist die Tangente des Ablenkungswinkels, um welchen die bewegliche Nadel durch den festen Stab abgelenkt würde, wenn die Mitte der Nadel von der Mitte des Stabes um die Längeneinheit, für welche wir hier das Meter nehmen, von einander entfernt wäre, vorausgesetzt, dass die Dimensionen der beiden Magnete im Vergleich zu dieser Entfernung klein genug sind, wie es bei den oben betrachteten Weber'schen Ablenkungsversuchen in der That der Fall war.

Bei der Fig. 64 dargestellten gegenseitigen Lage ist das reducirte Drehungsmoment, also die Tangente des Winkels, um welchen die Nadel durch den um 1 m entfernten Stab abgelenkt wird, 0·01753; bei der Fig. 65 dargestellten gegenseitigen Lage aber nur 0·00876; im ersten Falle ist der entsprechende Ablenkungswinkel $1^0\ 0'\ 43''$, im letztern $30'\, 21''$.

Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maass. 27 Nachdem wir die Gesetze, welchen die Wirkung der Magnete in die Ferne folgt, kennen gelernt haben, können wir auch zu den Untersuchungen über die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus zurückkehren.

Die Gesammtkraft, welche auf eine in horizontaler Ebene schwingende Magnetnadel wirkt, lässt sich aus den beobachteten Schwingungszeiten nach den Gesetzen der Pendelbewegung berechnen. Wie wir im ersten Bande (§. 116) gesehen haben, ist für ein einfaches Pendel

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

wo die Buchstaben t, π, l und g die dort angegebene Bedeutung haben.

Wenn man mit einem physischen, also zusammengesetzten Pendel zu thun hat, so muss für l die Länge des einfachen Pendels gesetzt werden, welches mit dem fraglichen physischen gleiche Schwingungsdauer hat. Wie Bd. I, Seite 329 gezeigt wurde, findet man aber diese Länge, d. h. die Entfernung des Aufhängepunktes vom Schwingungspunkte des physischen Pendels, wenn man die Summe der Trägheitsmomente aller materiellen Punkte durch die Summe der statischen Momente der Kräfte dividirt, welche auf die einzelnen Punkte wirken.

Bezeichnen wir die Summe der Trägheitsmomente mit K, die jener statischen Momente mit C, so ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

Um die Sache recht anschaulich zu machen, wollen wir die Bedeutung der Buchstaben K und C noch etwas näher betrachten. Die Summe K der Trägheitsmomente der einzelnen materiellen Theilchen, das Trägheitsmoment des Körpers, ist in der That nichts anderes als die träge Masse, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte concentrirt sein müsste, um der Gesammtheit der beschleunigenden Kräfte, welche die Oscillationen bewirken, denselben Widerstand entgegenzusetzen, wie es die träge Masse des Körpers wirklich thut. Die Summe C der statischen Momente ist aber ebenso die Kraft, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte angreifen müsste, um denselben Effect hervorzubringen, wie die Gesammtheit aller Kräfte, die in verschiedenen Entfernungen angreifen.

Wenden wir nun unsere Formel auf einen Magnetstab an, welcher in horizontaler Ebene um eine verticale Axe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirt, so ergiebt sich t aus der Beobachtung und K lässt sich nach Principien der Mechanik berechnen, wenn der Stab eine einfache reguläre Gestalt hat; man kann demnach C nach jener Formel bestimmen. Man findet

$$C = \frac{\pi^2 K}{g \cdot t^2}.$$

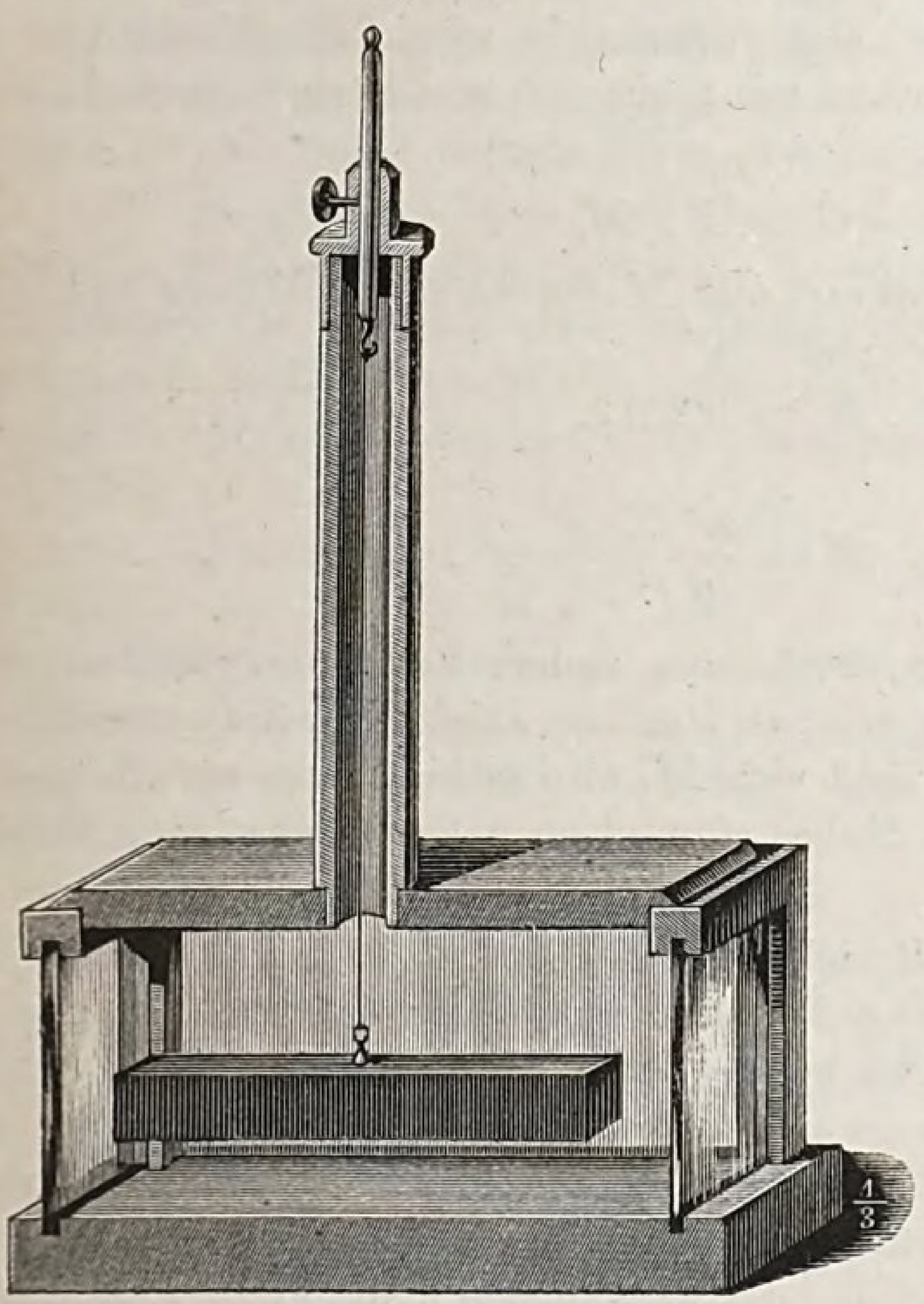
Gauss wandte zu den Schwingungsversuchen, die er zur Bestimmung der erdmagnetischen Kraft anstellte, das schon beschriebene Magnetometer an, bei welchem Apparate der Magnetstab in einem messingenen Schiffchen liegt, welches mitschwingt. Dadurch ist nun eine genaue Berechnung des Trägheitsmoments K unmöglich, und es ist deshalb nöthig, diese Grösse durch den Versuch auszumitteln, was nach den in §. 125 des ersten Bandes entwickelten Grundsätzen leicht auszuführen ist.

W. Weber hat einen ganz einfachen Apparat angegeben, um nach der Gauss'schen Methode die Intensität der erdmagnetischen Kraft zu bestimmen, der besonders Reisenden und Solchen zu empfehlen ist, die ein Magnetometer mit allem Zubehör nicht anschaffen und aufstellen können. Der Magnetstab, den Weber anwendet, ist ein möglichst genau gearbeitetes Parallelepiped von quadratischem oder fast quadratischem Querschnitt. In dem Mittelpunkte der oberen Fläche befindet sich ein Loch, welches mit einem Schraubengewinde versehen ist, damit man ein Messingöhr einschrauben kann, wie Fig. 66 zeigt.

Das Trägheitsmoment dieses Messingöhrs ist so gering, dass es ohne Weiteres gegen das Trägheitsmoment des Magnetstabes selbst, welches aus dessen Dimensionen und seinem Gewichte leicht berechnet werden kann (Bd. I, §. 122), vernachlässigt werden darf. Um störende Luft-

strömungen abzuhalten, wird der Magnetstab an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden in einem mit Glaswänden versehenen Kästchen aufgehängt, wie unsere Figur zeigt. Der hölzerne Deckel mit dem hölzernen Rohr, in welchem der Faden herabhängt, kann abgehoben werden.

Fig. 66.



Wie uns die Mechanik lehrt, findet man das Trägheitsmoment eines vierseitigen Prismas in Beziehung auf eine feste Axe, welche durch den Schwerpunkt des Prismas geht und der einen Kante parallel ist, nach der Formel $K = \frac{a^2 + b^2}{12} p$, wo a und b die Längen derjenigen Kanten bezeichnen, welche nicht mit der Umdrehungsaxe parallel sind; p ist das Gewicht des Stabes. Für Weber's Magnet war $a = 10{\cdot}1$ cm, $b = 1{\cdot}75$ cm, $p = 142$ g, es ist demnach

$$K = \frac{10{\cdot}1^2 + 1{\cdot}75^2}{12} 142$$
$$= 1243{\cdot}26,$$

wenn man das Gramm zur Einheit nimmt. Der fragliche Magnetstab setzt also einer jeden beschleunigenden Kraft, die ihn um seine verticale Axe zu drehen strebt, einen eben so grossen Widerstand entgegen, wie eine träge Masse von 1243·36 g, die von der Drehungsaxe um 1 cm entfernt ist.

Die Dauer einer Oscillation, also t, war für den Stab 6·67 Secunden, es ergiebt sich demnach

$$C = \frac{1243{\cdot}36 \,.\, \pi^2}{g \,.\, 6{\cdot}67^2} = 0{\cdot}2812,$$

wenn man für π^2 seinen Werth 9·8696 und für g seinen Werth 980·88 (Centimeter) setzt.

Die Zahl 0·2812 drückt die Anzahl der Gramme aus, deren Druck unter der Wirkung der Schwere auf einen 1 cm langen Hebel gleich ist der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab um seine verticale Axe zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Auf diese Weise ist die magnetische Kraft, welche den Stab beschleunigt, auf ein bekanntes Maass zurückgeführt. Damit ist aber der Zweck noch nicht erreicht, man hat noch keinen Werth für die magnetische Erdkraft, denn das Drehungsmoment $C = 0{\cdot}2812$ ist noch von der Natur des Stabes abhängig. Wäre der Magnetismus des Stabes stärker oder schwächer entwickelt gewesen, so würde der Werth von C grösser oder kleiner geworden sein; ausserdem ist aber auch C der magnetischen Erdkraft proportional, es ist also

$$C = T \,.\, M,$$

wenn T die magnetische Erdkraft und M den Stabmagnetismus bezeichnet, es ist also für unser Beispiel

$$T \,.\, M = 0{\cdot}2812.$$

Allgemein ausgedrückt ist

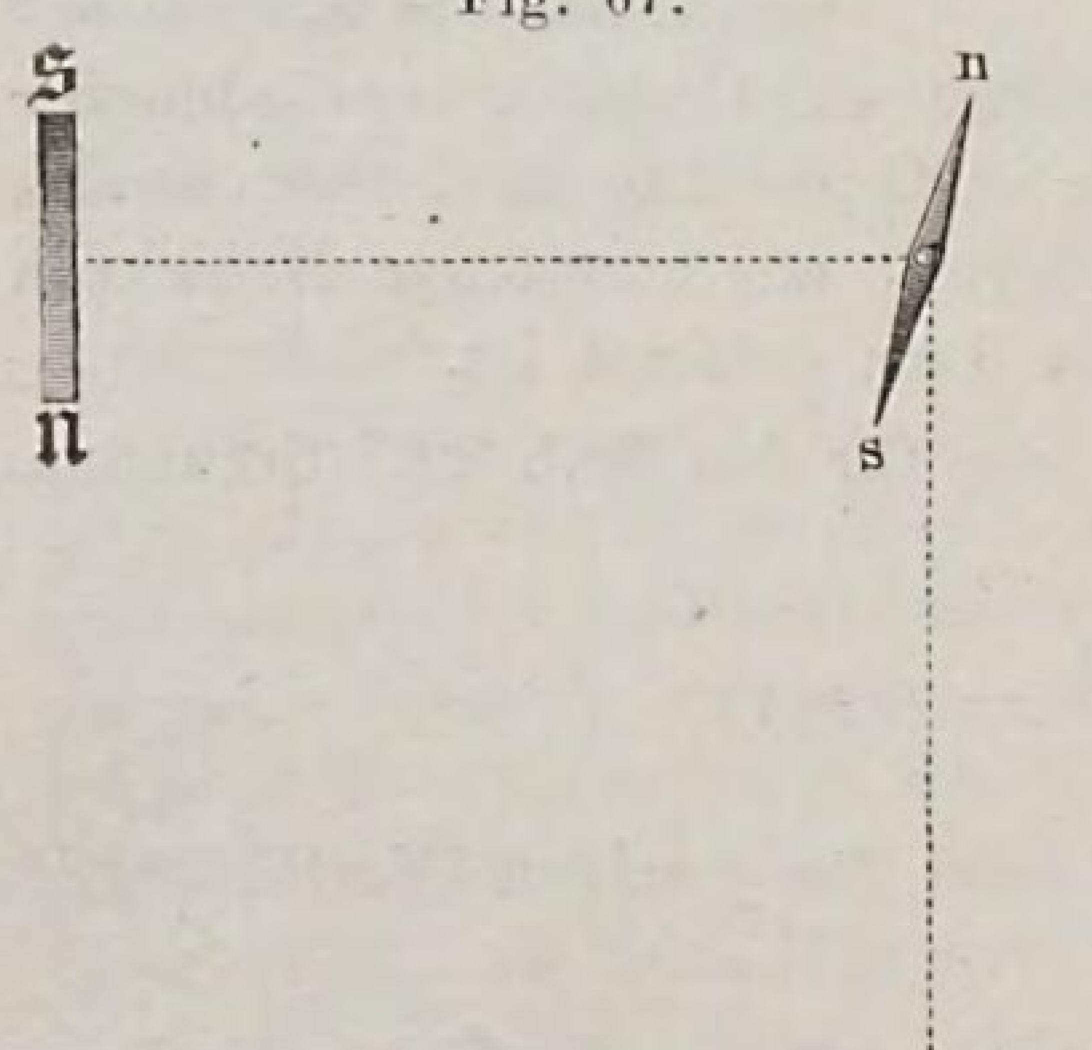
$$T \,.\, M = \frac{\pi^2 K}{g\, t^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Wenn es nun gelingt, noch eine andere Relation zwischen den Grössen T und M zu finden, wonach man eine zweite Gleichung zwischen T und M bilden kann, so lässt sich M, also gewissermaassen die magnetische Individualität des Stabes eliminiren und ein absoluter Werth für T finden.

Eine solche weitere Beziehung zwischen M und T ergiebt sich aber, wenn wir die Wirkung des Erdmagnetismus auf eine bewegliche Nadel mit derjenigen vergleichen, welche der horizontale Magnetstab auf dieselbe hervorzubringen im Stande ist.

Den horizontalen Theil der Wirkung, welchen der Erdmagnetismus auf eine horizontale Magnetnadel ns, Fig. 67, ausübt, können wir uns ersetzt denken durch die Wirkung eines Magnetstabes 𝔑 𝔖, der parallel dem magnetischen Meridian mit der Nadel in gleicher Horizontalebene so liegt, dass die Verbindungslinie der Mittelpunkte des Stabes und der Nadel rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht und dass der Abstand dieser Mittelpunkte 1 m beträgt.

Fig. 67.



Die Wirkung dieses idealen Magnetstabes auf die Nadel können wir nun vergleichen mit der Wirkung, welche der Magnetstab NS auf dieselbe hervorbringt, dessen Drehungsmoment C wir soeben kennen gelernt haben, vorausgesetzt, dass dieser Magnetstab unter gleichen Verhältnissen auf die Nadel wirkt wie der ideale Magnet. Es ist dies der Fall, wenn sein gleichfalls 1 m von der

Mitte der Nadel *ns* abstehender Mittelpunkt in dem magnetischen Meridian derselben liegt und seine Axe rechtwinklig zum magnetischen Meridian ist, denn jetzt strebt jeder der beiden Magnete 𝔑𝔖 und NS die Nadel mit seiner Richtung parallel zu stellen; NS strebt sie rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, 𝔑𝔖 strebt sie in denselben zurückzuführen, und die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels giebt uns das Verhältniss der Kräfte an, mit welchen beide Stäbe auf die Nadel wirken.

Der horizontale Theil des Erdmagnetismus oder der denselben vertretende Magnetstab 𝔑𝔖 dreht die Nadel mit der Kraft mT, der Stab NS wirkt auf dieselbe, nach entgegengesetzter Richtung drehend, mit der Kraft mM, wenn m das magnetische Moment der Nadel *ns* bezeichnet, M und T aber die soeben besprochene Bedeutung haben. Nun aber ist

$$\frac{m\,M}{m\,T} = \frac{M}{T} = r^3 \, tang\, v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

denn das reducirte Drehungsmoment $r^3 \, tang\, v$ ist ja die Tangente des Ablenkungswinkels, welche der Stab in der bezeichneten Lage bei 1 m Entfernung von der Nadel bewirkt. Aus der Combination der Gleichungen

$$T\,M = \frac{\pi^2\,K}{g\,t^2}$$

und

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang\, v$$

ergiebt sich aber

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{g\,r^3 \, tang\, v}}.$$

Suchen wir nun für T einen Zahlenwerth zu erhalten. Für den Magnetstab, mit welchem Weber die schon besprochenen Ablenkungs- und Schwingungsversuche gemacht hat, ergab sich, wie wir wissen,

$$T \,.\, M = 0{\cdot}2812 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad a)$$

und das reducirte Drehungsmoment

$$r^3 \, tang\, v = 0{\cdot}00876,$$

folglich auch

$$\frac{M}{T} = 0{\cdot}00876 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad b)$$

Aus der Combination der beiden Gleichungen a) und b) ergiebt sich aber

$$T = 5{\cdot}65.$$

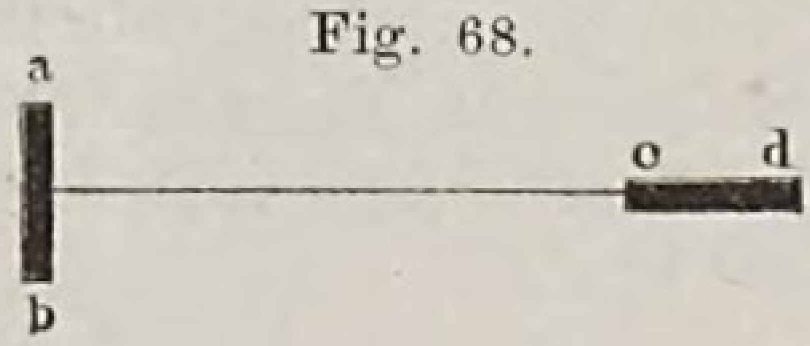
Wir haben jetzt für T einen numerischen Werth gefunden, und nun kommt es darauf an, die Einheit genauer zu definiren, auf welche sich dieser Zahlenwerth bezieht.

Wenn in einem Magnetstabe *ab*, Fig. 68, die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist, so wird er einen gleich stark magnetischen Stab *cd*, welcher sich auf dem in der Mitte von *ab* errichteten Perpendikel befindet und dessen Mittelpunkt 1 m weit vom Mittelpunkte des Stabes *ab* entfernt ist, aus der in der Fig. 68 angedeuteten Stellung mit einer Kraft zu drehen streben, welche gleich ist dem statischen Moment von 1 g, welches an einem Hebelarm von 1 cm angreift.

Wenn die Intensität des horizontalen Theils des Erdmagnetismus $T = 5{\cdot}65$ ist, so heisst das, der Erdmagnetismus wird einen Magnetstab, welcher rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht, und in welchem die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist, mit einer Kraft drehen, welche gleich ist dem statischen Momente von 5·65 g, an dem Hebelarm 1 cm angreifend.

Wir haben oben gesehen, dass für den Weber'schen Versuchsstab $MT = 0{\cdot}2812$ ist. Da nun $T = 5{\cdot}65$, so ist für diesen Stab $M = 0{\cdot}0495$; der in demselben entwickelte freie Magnetismus beträgt also $\frac{495}{10000}$ von demjenigen, welchen wir zur Einheit der magnetischen Kraft genommen haben.

Fig. 68.



Die eben gemachte Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus bezieht sich auf Göttingen. Für andere Orte wird man andere Werthe von T erhalten und zwar wächst die Stärke des horizontalen Theils des Erdmagnetismus um so mehr, je mehr man sich dem magnetischen Aequator nähert.

Gauss und Weber legten bei der numerischen Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maasse andere Einheiten zu Grunde, als es eben des leichteren Verständnisses wegen geschehen ist. Zunächst nehmen sie das Milligramm zur Masseneinheit und nehmen den Angriffspunkt 1 Millimeter weit von der Drehungsaxe, ferner beziehen sie das reducirte Drehungsmoment $r^3 \, tang \, v$ nicht auf die Entfernung von 1 m, sondern auf die von 1 Millimeter. Dadurch wird der Werth von K 100 000mal, der von g 10mal und der von r^3 1000 000 000mal grösser und man erhält nach der Formel

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{g\, r^3 \, tang \, v}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

für T den $100\sqrt{10}$ mal kleinern Werth

$$T = 0{\cdot}0179.$$

Nun aber ist die Intensität der Schwerkraft nicht für alle Orte der Erde dieselbe, oder, mit anderen Worten, der in obiger Gleichung vorkommende Werth von g ist selbst eine variable Grösse. Um nun T auf ein durchaus absolutes Maass zurückzuführen, muss man statt der Schwere eine andere Krafteinheit substituiren, und zwar nehmen jene Physiker als Einheit der Kraft diejenige an, unter deren Einfluss

der Fallraum der ersten Secunde nicht g, sondern 1 mm wäre. (Siehe die Besprechung des absoluten Maasssystems Band I, S. 585.) Um den Werth von T auf diese Krafteinheit zu reduciren, hat man nur die Gleichung 1) noch mit $\sqrt{g}$ zu multipliciren; es ergiebt sich alsdann

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{r^3 \, tang \, v}}.$$

Multiplicirt man den Werth $T = 0{\cdot}0179$ mit $\sqrt{g}$ (für Göttingen ist $g = 9808$ mm), so ergiebt sich nach absolutem Maass für Göttingen,

$$T = 1{\cdot}774.$$

Nach derselben Einheit war die horizontale Intensität des Erdmagnetismus

in	im Jahre	T
Berlin	1845	1·780
München	1850	1·925
Wien	„	1·995
Pest	1845	2·036
Genf	„	1·980
Palermo	1835	2·435
Lissabon	1858	2·210
Madrid	„	2·172
Paris	„	1·876
London	1840	1·739
Petersburg	1842	1·658

Die bisher besprochene von Weber vereinfachte Beobachtungsmethode zur Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus giebt Resultate, welche bis auf die Grösse der täglichen Variationen genau sind.

Der oben ermittelte Werth von T ist nicht der Werth der totalen Intensität der magnetischen Erdkraft, sondern nur der ihrer horizontalen Componente. Die Intensität der totalen magnetischen Erdkraft ist

$$J = \frac{T}{\cos i},$$

wo für i der Inclinationswinkel zu setzen ist.

Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus mit dem magnetischen Theodolit. Um mit seinem magnetischen Theodolit auch die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bestimmen zu können, hat Lamont die entsprechenden Vorrichtungen an demselben angebracht. 28

Nach den im vorigen Paragraphen entwickelten Principien sind zur Bestimmung der horizontalen Intensität zwei gesonderte Beobachtungen nöthig, nämlich 1) die Beobachtung der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Declinationsnadel bewirkt, und 2) die Beobachtung der

Schwingungen, welche das Ablenkungsstäbchen unter dem Einfluss des Erdmagnetismus macht.

Für die Ablenkungsversuche wird an dem magnetischen Theodolit eine Ablenkungsschiene *PP* aufgesetzt, wie man es Fig. 69 sieht, und nachdem das Instrument so eingestellt worden ist, dass die Axe des Fernrohrs normal steht auf der Ebene des Magnetspiegels und man für diese Stellung den Nonius abgelesen hat, wird nun der Ablenkungsmagnet an dem einen Ende der Schiene aufgelegt. — Damit er immer genau auf dieselbe Stelle kommt, ist auf der Schiene, wie man Fig. 70 sieht,

Fig. 69.

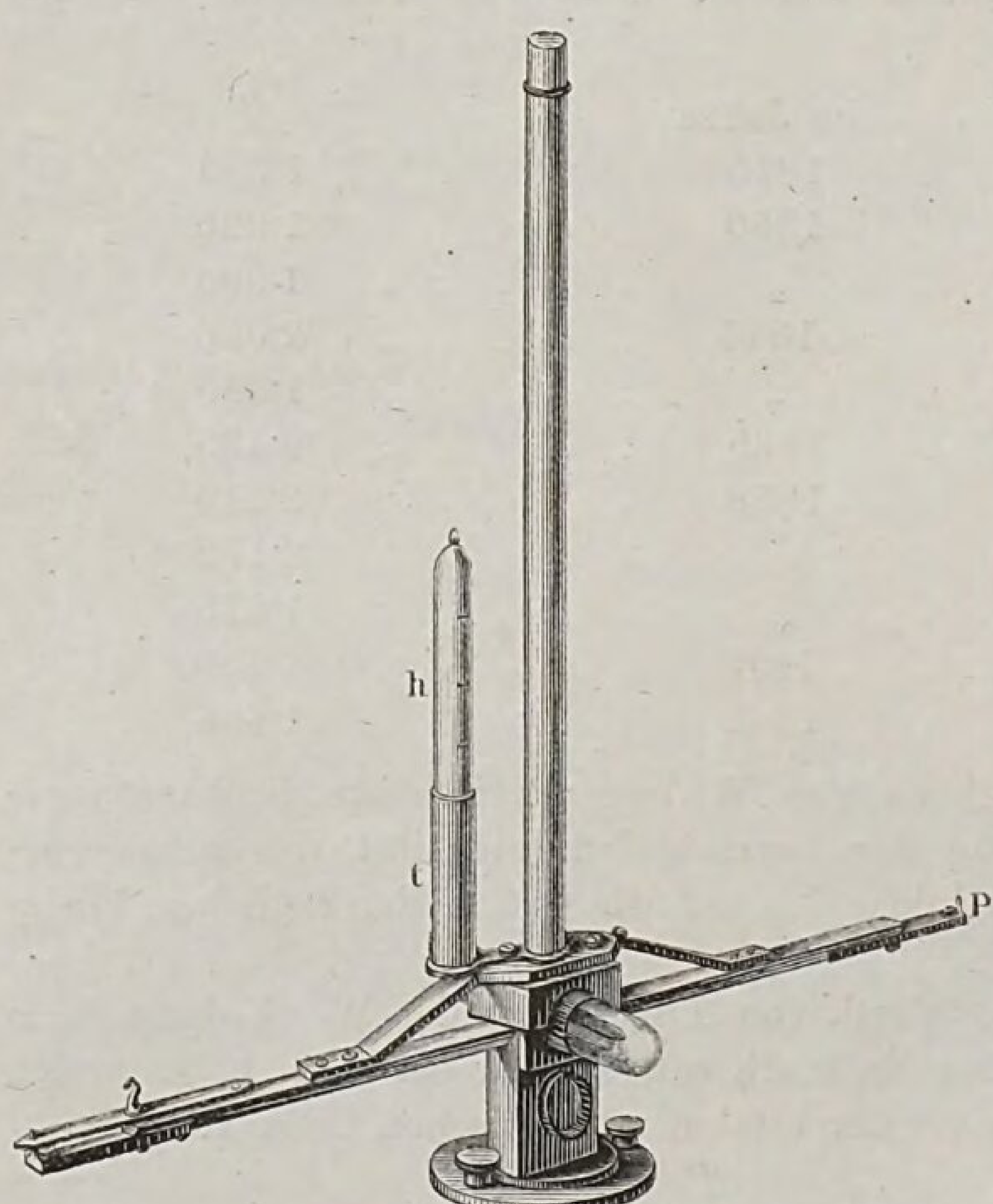
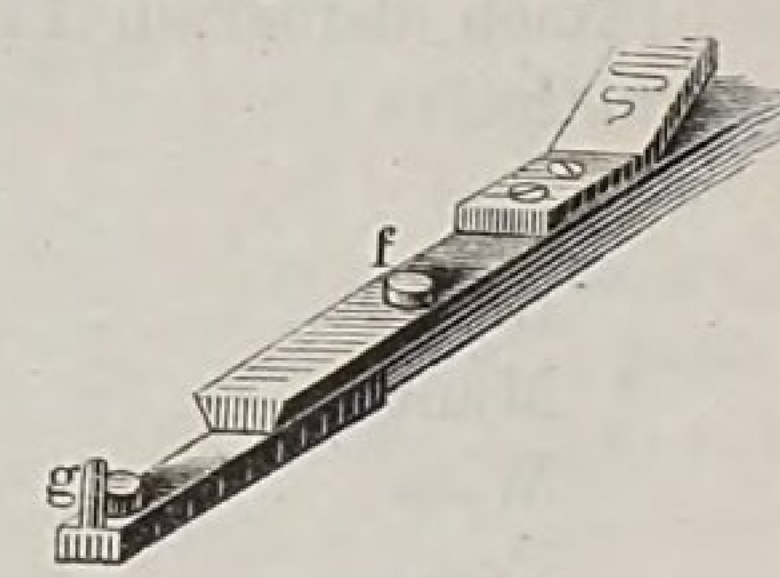


Fig. 70.



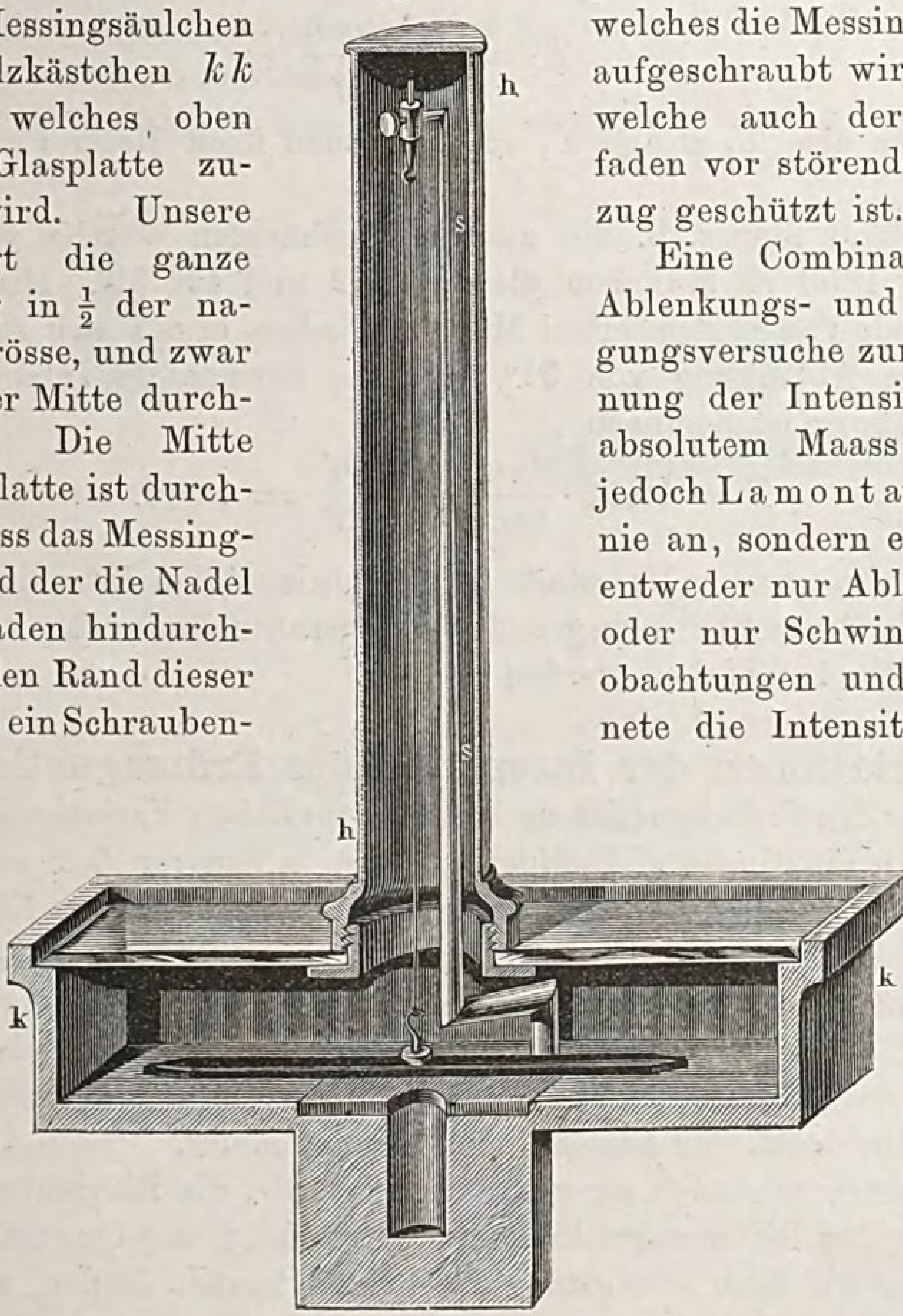
welche das eine Ende der Schiene in grösserm Maassstabe darstellt, ein Knopf *f* und am Ende derselben eine kleine Feder *g* befestigt, welche genau in zwei Löcher des Magnetstäbchens passen.

Hat man die dieser Stellung des Magnets entsprechende Ablenkung abgelesen, so wird der Ablenkungsmagnet so umgelegt, dass sein Nordpol dahin kommt, wo eben sein Südpol lag, und umgekehrt, und abermals die nun nach entgegengesetzter Seite gerichtete Ablenkung abgelesen. Ist dies geschehen, so wird der Ablenkungsmagnet auf das entgegengesetzte Ende der Ablenkungsschiene gebracht und für die dort möglichen beiden Stellungen des Ablenkungsmagnets ebenfalls die entsprechende Ablenkung abgelesen. So erhält man für die Ablenkung vier Werthe, aus denen das Mittel genommen und in Rechnung gebracht wird.

Die Gesammtlänge der Ablenkungsschiene beträgt 34, die Länge des Ablenkungsmagnets beträgt 8 cm.

Um die Schwingungsversuche zu machen, wird der Ablenkungsmagnet mittelst eines ungedrehten Seidenfadens an einem messingenen Säulchen *s*, Fig. 71, aufgehängt. Um den Magnet vor störenden Luftströmungen zu schützen, wird das Messingsäulchen in ein Holzkästchen *kk* eingesetzt, welches oben mit einer Glasplatte zugedeckt wird. Unsere Figur zeigt die ganze Vorrichtung in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse, und zwar gerade in der Mitte durchgeschnitten. Die Mitte dieser Glasplatte ist durchbohrt, so dass das Messingstäbchen und der die Nadel tragende Faden hindurchgeht. Um den Rand dieser Oeffnung ist ein Schraubengewinde aufgekittet, auf welches die Messinghülse *h* aufgeschraubt wird, durch welche auch der Seidenfaden vor störendem Luftzug geschützt ist.

Fig. 71.



Eine Combination der Ablenkungs- und Schwingungsversuche zur Berechnung der Intensität nach absolutem Maass wandte jedoch L a m o n t auf Reisen nie an, sondern er machte entweder nur Ablenkungs- oder nur Schwingungsbeobachtungen und berechnete die Intensität durch Vergleichung mit den entsprechenden in dem Münchener Observatorium angestellten Beobachtungen.

Sind T und v die zusammengehörigen Werthe der horizontalen Intensität und der Ablenkung, so haben wir

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang \, v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1),$$

wenn M die Stärke des Stabmagnetismus bezeichnet. Für einen andern Ort, dessen horizontale Intensität T' ist, sei die entsprechende durch dasselbe Magnetstäbchen an demselben Instrument bewirkte Ablenkung v', so ist

$$\frac{M}{T'} = r^3 \, tang \, v' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2),$$

und wenn man die Gleichung 2) in die Gleichung 1) dividirt

$$\frac{T'}{T} = \frac{tang\, v}{tang\, v'},$$

oder

$$T' = T \frac{tang\, v}{tang\, v'},$$

kennt man also T, v und v', so kann man nach dieser Formel T' berechnen.

So fand man z. B. die zusammengehörigen Werthe von T und v im Jahre 1850 zu München gleich 1·952 und 49° 50′. Mit demselben Reisetheodolit und demselben Magnetstäbchen ergab sich zu Aschaffenburg eine Ablenkung von 51° 50′, die horizontale Intensität T' für Aschaffenburg ist demnach

$$T' = 1{\cdot}952 \cdot \frac{tang\ 49^0\ 50'}{tang\ 51^0\ 50'} = 1{\cdot}859.$$

Für die genaue Berechnung der horizontalen Intensität sind nun gleichfalls Correctionen wegen der Temperatur etc. nöthig, welche hier nicht weiter besprochen werden können.

29 **Variationen der Intensität des Erdmagnetismus.** Die Intensität des Erdmagnetismus hat ihre täglichen Variationen gerade so wie die Declination und Inclination, erst in neuerer Zeit aber hat man diesem für die Theorie des Erdmagnetismus so wichtigen Elemente eine grössere Aufmerksamkeit geschenkt. Gauss hat einen Apparat, das Bifilarmagnetometer, construirt, durch welchen die geringste Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus nachgewiesen und dem Auge ganz in der Weise sichtbar gemacht wird, wie die Variationen der Declination durch das gewöhnliche Magnetometer.

Wenn es uns auch zu weit führen würde, die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilarmagnetometers vollständig auseinander zu setzen, so müssen wir doch wenigstens das Princip kennen lernen, auf welchem es beruht.

Wir haben oben eine Methode kennen gelernt, mittelst deren man die Intensität des Erdmagnetismus mit ausserordentlicher Genauigkeit ermitteln kann; dieselbe ist aber unbrauchbar, sobald es sich darum handelt, die täglichen Variationen der Intensität zu beobachten. Jene Methode zur Bestimmung der magnetischen Intensität beruht nämlich auf der Verbindung mehrerer Operationen, welche sämmtlich eine nicht ganz kurze Zeit in Anspruch nehmen, während welcher sich die Intensität ändern kann; man erhält auf diese Weise also nur Mittelwerthe der Intensität, es bleibt ganz verborgen, ob und welche Variationen sie während dieser Zeit erlitten hat.

Die Schwingungsdauer eines Magnetstabes, deren genaue Ermittelung namentlich eine etwas längere Zeit in Anspruch nimmt, dient

nur dazu, mittelbarer Weise das Drehungsmoment zu bestimmen, welches die erdmagnetische Kraft dem Stabe ertheilt, wenn er sich nicht im magnetischen Meridian befindet. Mit Hilfe des Gauss'schen Bifilarmagnetometers kann man dieses Drehungsmoment auf directem Wege ohne Schwingungsbeobachtungen scharf bestimmen, und seine Veränderungen sicher und schnell messen.

Wenn ein Körper an zwei Fäden aufgehängt und nur dem Ein-

Fig. 73.

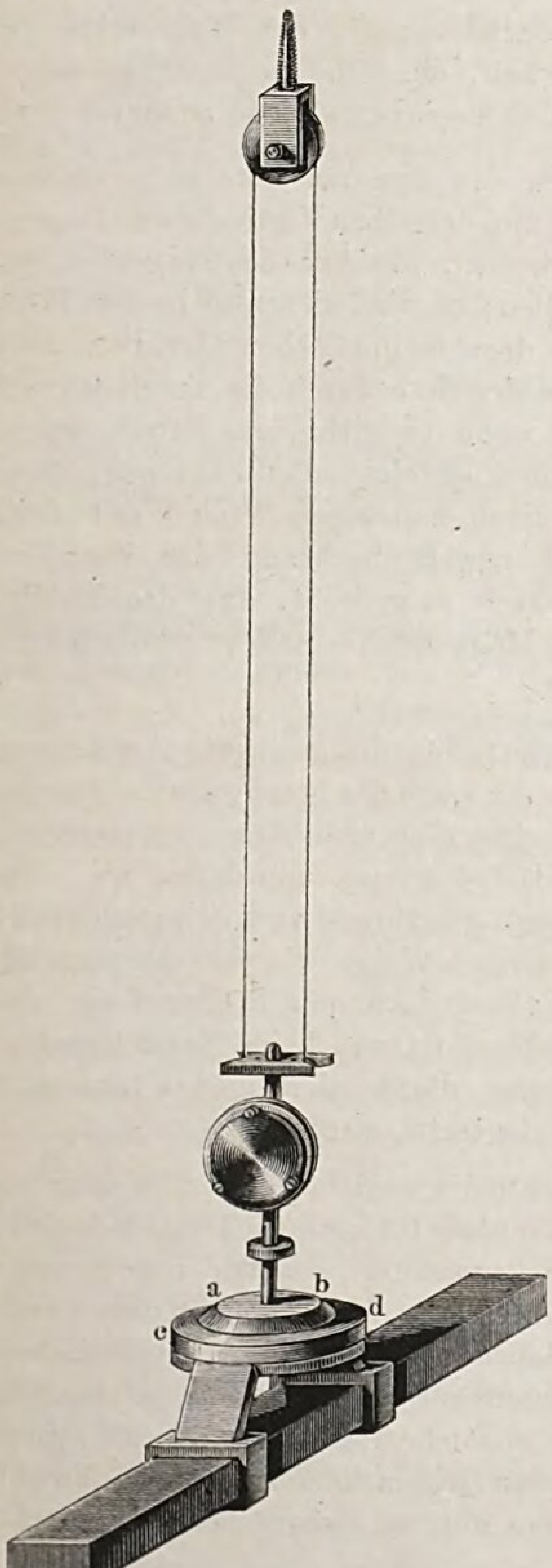
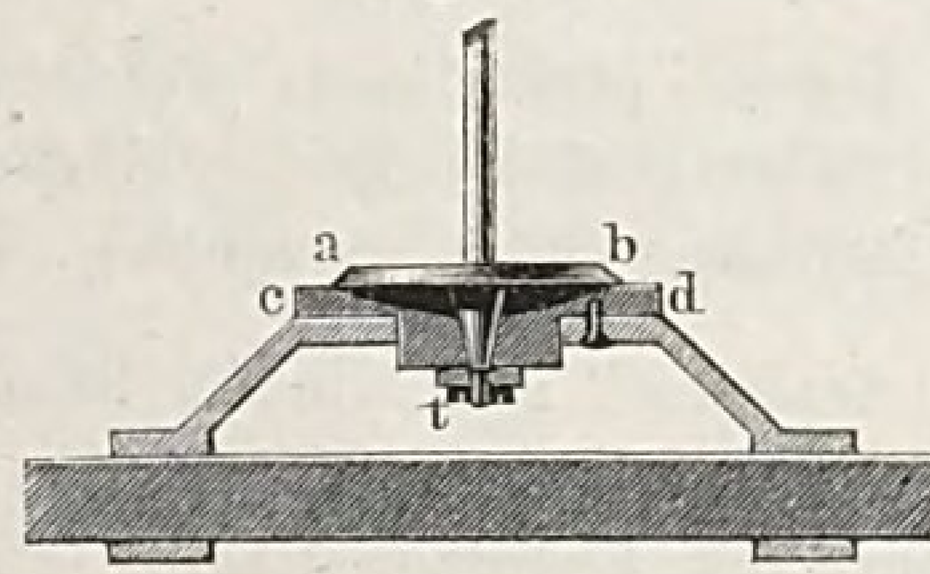


Fig. 72.



flusse der Schwerkraft ausgesetzt ist, so befindet er sich nur dann im Gleichgewichte, wenn die beiden Fäden in einer Ebene liegen, und wenn der Schwerpunkt des Körpers sich in derselben Ebene zwischen der verlängerten Richtung der beiden Fäden befindet. Sobald man aber den Körper aus dieser Gleichgewichtslage herausdreht, so werden die Fäden gleichsam spiralförmig gewunden, und der aufgehängte Körper wird etwas gehoben. Lässt man ihn wieder frei, so sucht sein Schwerpunkt wieder die ursprünglich tiefste Lage einzunehmen und es tritt daher eine Kraft auf, die den Körper in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt. Die Grösse dieser richtenden Kraft hängt von der Länge der Fäden, von ihrer Entfernung und von der Grösse des Gewichtes ab, welches sie zu tragen haben.

Das Wesentliche der Einrichtung eines Bifilarmagnetometers ist aus Fig. 72 und 73 zu ersehen. Von einer Rolle, Fig. 73, deren Scheere in die Decke des Beobachtungslocales eingeschraubt wird, hängen die

beiden Drähte herab, welche das Magnetometer tragen. Das Stäbchen, welches den Spiegel trägt, endigt unten in einer kreisförmigen Scheibe ab; an der unteren Fläche dieser Scheibe sitzt ein conischer Zapfen, um welchen die Metallscheibe cd beliebig gedreht und durch Anziehen der Schraubenmutter t in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden kann, wie durch Fig. 72 wohl verständlich sein wird. An der Scheibe cd ist dann das Schiffchen mit dem Magnetstab in unveränderlicher Weise befestigt.

Diese Vorrichtung, welche es möglich macht, den Magnetstab in seiner Horizontalebene beliebig zu drehen, ohne die gegenseitige Lage der Aufhängefäden zu ändern, wird der Torsionskreis genannt.

Während nun die Aufhängefäden den Apparat stets so zu stellen streben, dass sie ohne Torsion in einer und derselben Verticalebene liegen, äussert der Erdmagnetismus ein Bestreben, die Axe des Magnetstabes in den magnetischen Meridian zu stellen; es wird sich also in der That die Axe des Magnetstabes zwischen dem magnetischen Meridian und derjenigen Linie einstellen, in welche der Stab durch die Torsionskraft der Fäden gebracht werden würde, wenn er nicht magnetisch wäre. Mit Hilfe des Torsionskreises kann man es leicht dahin bringen, dass die oben bezeichnete Zwischenlage einen beliebigen Winkel mit dem magnetischen Meridian macht, und zur Beobachtung der Variationen der Intensität wird der Torsionskreis so gedreht, dass das Gleichgewicht stattfindet, wenn die Axe des Magnetstabes nahezu rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Es ist klar, dass unter diesen Umständen die geringste Aenderung in der Intensität des Erdmagnetismus die Lage des Magnetstabes ändern müsse; wenn sie stärker wird, so nähert er sich dem magnetischen Meridian, wenn sie abnimmt, so entfernt er sich von demselben. Da nun die Intensität des Erdmagnetismus fortwährend variirt, so schwankt der Magnetstab fortwährend in derselben Weise wie der Magnetstab eines einfachen Magnetometers; die Veränderungen in der Lage des Stabes werden auf dieselbe Weise beobachtet wie beim Magnetometer; da dieselben sehr gering sind, so kann die Aenderung der Intensität der Drehung des Magnets proportional gesetzt werden.

Um dann den Werth eines Scalentheils nach absolutem Maasse zu erhalten, muss man künstlich die horizontale Intensität um eine bekannte Grösse erhöhen oder vermindern und beobachten, um wie viele Scalentheile hierdurch der Magnet abgelenkt wird. Man erreicht dies durch Annäherung eines zweiten Magnetstabes vom bekannten magnetischen Moment M. Bringt man diesen in derselben Horizontalebene in ziemlich grossem Abstande r (in Millimetern) in solche Lage, dass er mit seiner Axe in den magnetischen Meridian zu liegen kommt, also senkrecht auf den Bifilarmagnet gerichtet ist, so übt er, wenn das magnetische

Moment des letzteren $= m$ ist, eine solche Wirkung aus, dass hierdurch das Drehungsmoment des Erdmagnetismus um die Grösse

$$\frac{2\,Mm}{r^3}$$

vermehrt oder vermindert wird, je nachdem der eine oder der andere Pol zugewendet ist.

Die Ablenkung durch diesen Magnet betrage n Scalentheile, die Aenderung der horizontalen Intensität, welche eine Ablenkung um einen Scalentheil hervorbringt, werde mit Δ bezeichnet. Nimmt dann T zu, so dass es $T + \Delta$ wird, so wird das vom Erdmagnetismus ausgeübte Drehungsmoment von $m\,T$ bis $m\,(T + \Delta)$, also um $m\,\Delta$ zunehmen. Wir können somit die Proportion ansetzen:

$$n : \frac{2\,Mm}{r^3} = 1 : m\,\Delta,$$

in Worten: Wenn eine Ablenkung von n Scalentheilen durch ein Moment

$$\frac{2\,M\,m}{r^3},$$

hervorgebracht wird, welches Moment $m\,\Delta$ wird dann die Ablenkung von einem Scalentheil bewirken? Man findet dann

$$\Delta = \frac{2\,M}{n\,r^3}.$$

Man bestimmt am bequemsten den doppelten Werth von n, indem man den genäherten Magnetstab umlegt und die den beiden Lagen entsprechende Stellung des Bifilarmagnetes beobachtet. Bewegt sich dann ein anderesmal unter alleinigem Einflusse der Variation des Erdmagnetismus der Bifilarmagnet aus einer Stellung a_1 in eine Stellung a_2, so schliessen wir auf eine Aenderung von T um $(a_2 - a_1)\,\Delta$.

Magnetische Karten, Isogonen, Isoklinen und Isodynamen. 30 In den Paragraphen 14 und 15 haben wir bereits Einiges über die verschiedenen Lagen der Declinations- und Inclinationsnadel an verschiedenen Orten der Erdoberfläche mitgetheilt. Nachdem wir dann später die Instrumente und Methoden kennen gelernt haben, um die Grösse der Declination und Inclination genau zu messen, erübrigt uns noch zu zeigen, wie sich diese Resultate übersichtlich auf magnetischen Karten durch ein System von Curven darstellen lassen.

Man unterscheidet dreierlei Arten magnetischer Curven, nämlich:

1) die isogonischen Linien, Linien gleicher magnetischer Declination,

2) die isoclinischen Linien, Linien gleicher magnetischer Inclination und

3) die isodynamischen Linien, Linien gleicher magnetischer Intensität.

Die Fig. 74 ist eine Declinationskarte, d.h. sie stellt den Verlauf der isogonischen Linien dar und zwar zwischen dem 80. Grade nördlicher und dem 60. Grade südlicher Breite. Die ausgezogenen Curven

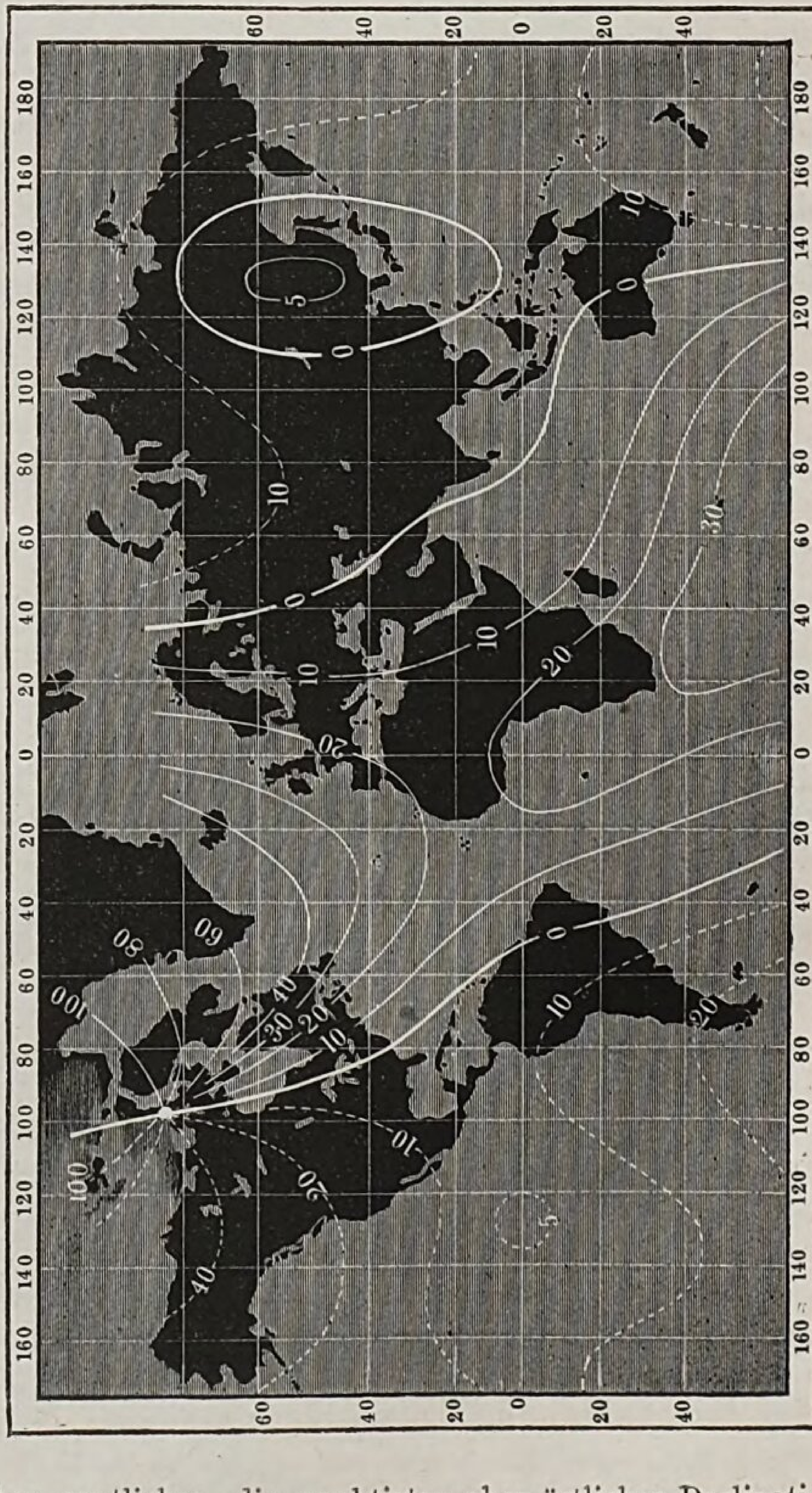


Fig. 74.

entsprechen westlicher, die punktirten aber östlicher Declination. Auf den mit 0 bezeichneten Curven zeigt die horizontale Magnetnadel genau nach Norden.

Fig. 75 stellt den Verlauf der isoclinischen Linien dar.

Der mit 0 bezeichnete magnetische Aequator in Fig. 75 ist etwas stärker gezogen und dadurch vor den übrigen isoclinischen Curven ausgezeichnet. Nördlich von demselben senkt sich das Nordende, südlich das Südende der Inclinationsnadel.

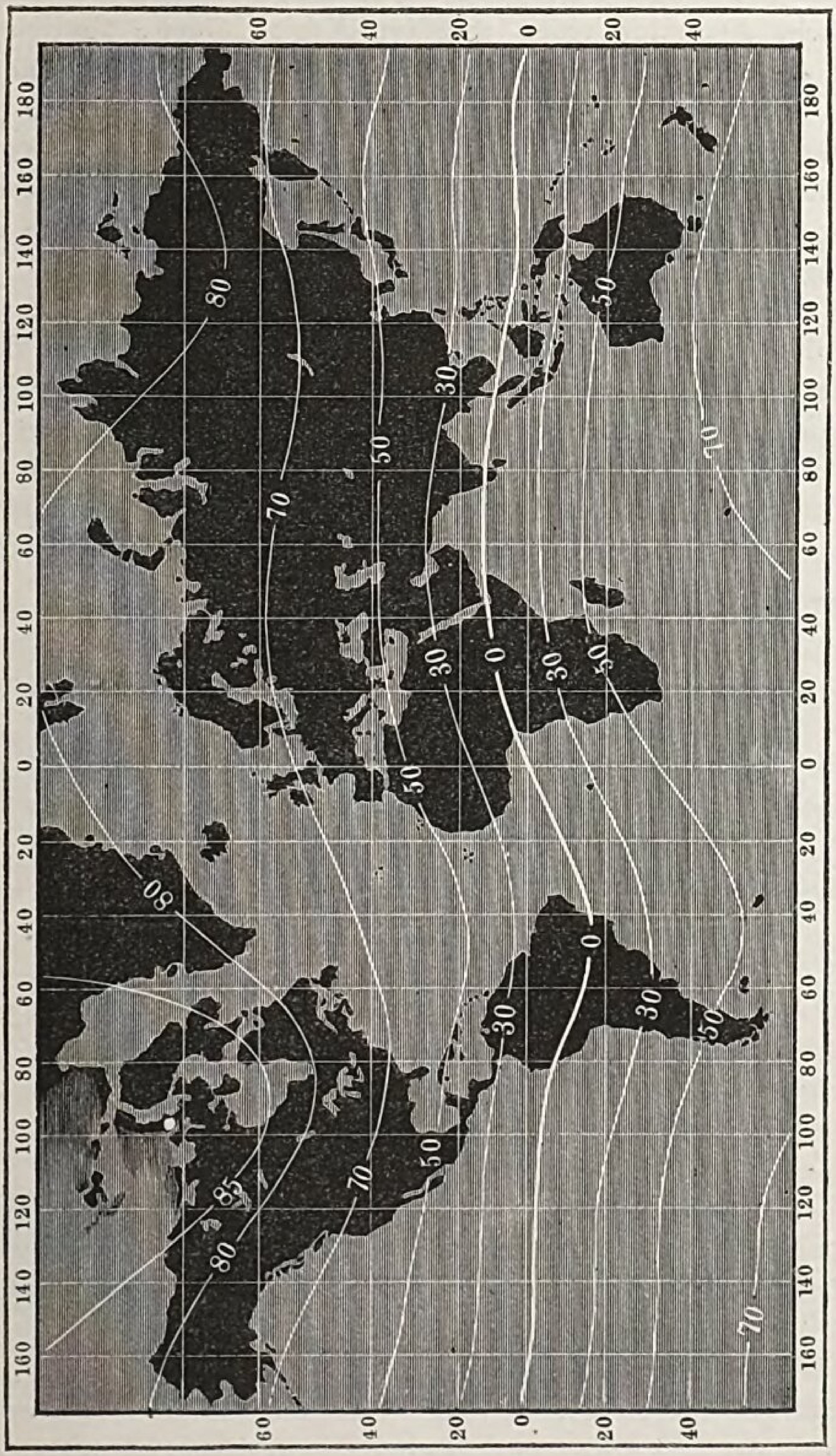


Fig. 75.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Punkte, für welche sich die Inclinationsnadel senkrecht stellt. Der magnetische Nordpol, welchen Capitän Ross auf der Insel Melville wirklich erreichte,

findet sich auf den Karten Fig. 74 und Fig. 75. Der magnetische Südpol, dessen Lage nur aus dem Verlauf der magnetischen Curven auf der Südhälfte der Erde erschlossen werden kann, findet sich nicht mehr auf diesen Karten.

Wäre der Erdmagnetismus regelmässig vertheilt, so müsste der magnetische Aequator einen grössten Kreis bilden, ähnlich wie die Ekliptik am Himmelsgewölbe, und die beiden magnetischen Pole der Erde müssten einander diametral gegenüber stehen. Aus Fig. 75 erkennt man den unregelmässigen Verlauf des magnetischen Aequators, woraus sich demnach die unregelmässige Vertheilung des Erdmagnetismus ergiebt, in Folge deren auch die beiden magnetischen Pole der Erde keineswegs einander diametral gegenüberstehen.

Nach dem, was bereits im Paragraph 20 über die secularen Variationen des Erdmagnetismus gesagt wurde, ist klar, dass der Verlauf der magnetischen Curven sich allmälig ändern müsse, und in der That zeigen die magnetischen Karten vom Anfang des vorigen Jahrhunderts ein ganz anderes Bild als die obigen Karten, welche für das Jahr 1860 construirt sind. Aus der allmäligen Veränderung in der Lage der magnetischen Curven ergiebt sich auch, dass die magnetischen Pole der Erde nach und nach ihre Stelle ändern müssen.

Zweites Capitel.

Die Erscheinungen der elektrischen Spannung.

Fundamentalversuche, Elektrisirung durch Reibung. 31
Im gewöhnlichen Zustande zeigen die festen Körper durchaus nicht die Eigenschaft, leichte Partikelchen, wie Goldflitter, Sägespäne, Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark etc. anzuziehen. Wenn man aber mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Stange Schwefel oder Siegellack, ein Stück Bernstein etc. reibt, so erlangen diese Körper sogleich jene merkwürdige Eigenschaft. Die anziehende Kraft ist oft so gross, dass schon in einer Entfernung von mehreren Centimetern Kügelchen von Hollundermark aufgezogen werden (Fig. 76). Die Ursache dieses Phänomens nennt man **Elektricität**, nach dem griechischen Worte ἤλεκτρον, welches Bernstein bedeutet, an welchem die griechischen Philosophen zuerst diese merkwürdige Eigenschaft beobachtet hatten.

Fig. 76.



Um mit Sicherheit entscheiden zu können, ob ein Körper durch Reiben elektrisch wird oder nicht, wendet man Apparate an, welche **Elektroskope** genannt werden.

Das einfachste Elektroskop ist das **elektrische Pendel** (Fig. 77 a. f. S.). Es besteht aus einer kleinen Kugel von Hollundermark, welche an einem feinen **leinenen** Faden aufgehängt ist. Wenn man einen Körper prüfen will, so nähert man ihn dem Kügelchen; wird es ange-

zogen, so ist der Körper elektrisch, wird es aber nicht angezogen, so ist er entweder nicht elektrisch, oder seine Elektricität ist doch zu schwach,

Fig. 77.

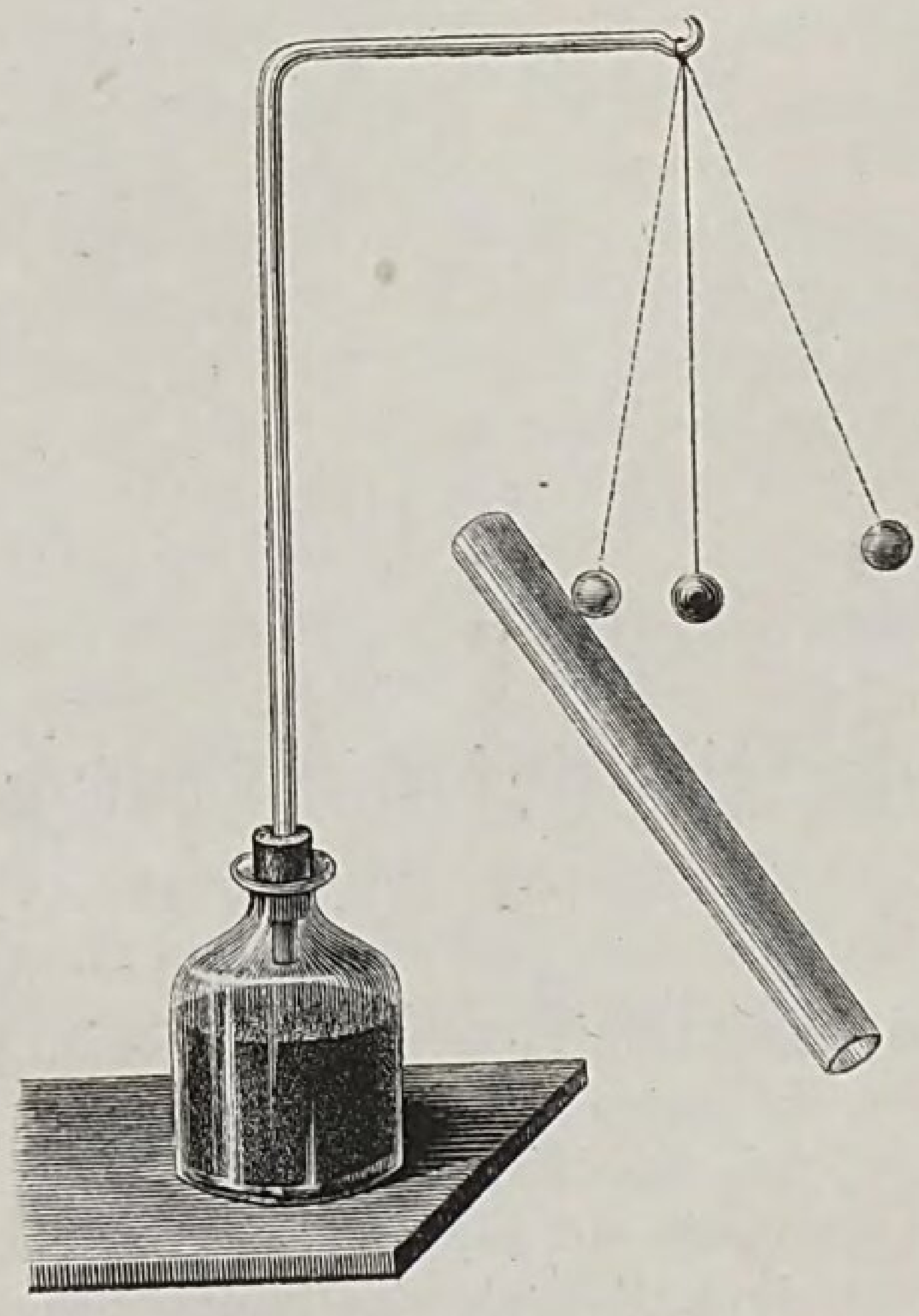
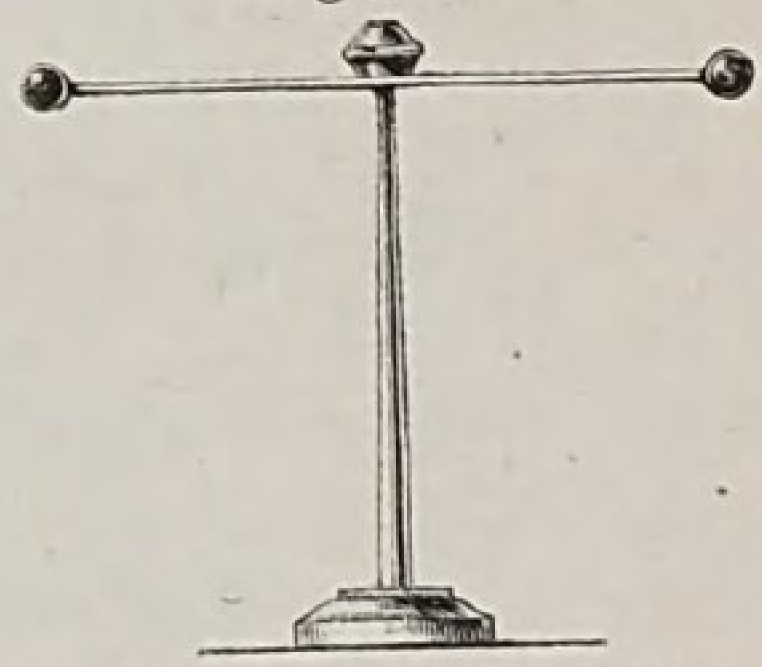


Fig. 78.



um hier eine Wirkung hervorzubringen.

Die elektrische Nadel (Fig. 78) ist eben so empfindlich als das elektrische Pendel. Sie besteht aus einem Messingdrahte, welcher in zwei metallischen Kugeln endigt. In der Mitte des Drahtes befindet sich ein Stahl- oder Achathütchen, welches auf einer feinen Spitze ruht. Eine geringe elektrische Kraft reicht schon hin, die Nadel in Bewegung zu setzen.

Mit Hilfe dieser Apparate kann man untersuchen, in wiefern die verschiedenen Körper durch Reiben elektrisch werden oder nicht. Man findet, dass alle Harze, Bernstein, Schwefel, Glas etc. durch Reiben stark elektrisch werden; Edelsteine, Holz, Kohle geben selten einige Spuren von Anziehung; Metalle endlich scheinen auf den ersten Anblick durch Reiben gar nicht elektrisch gemacht werden zu können, denn man mag einen Metallstab, den man in den Händen hält, noch so stark reiben, man erhält an allen diesen Apparaten auch nicht die mindesten Spuren von Anziehung. Man theilte danach alle Körper in zwei grosse Classen, in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nannte man idioelektrische, letztere anelektrische Körper.

32 **Leiter und Nichtleiter der Elektricität.** Man war früher der Meinung, dass die Körper, welche man mit dem Namen der anelektrischen bezeichnet hatte, auf keinerlei Weise in den elektrischen Zustand versetzt werden könnten.

Ein englischer Physiker, Gray, machte im Jahre 1727 die Entdeckung, dass ein mittelst eines Korkstopfens in das offene Ende einer

Glasröhre eingesteckter, aus derselben hervorragender Metalldraht und eine an denselben angehängte Metallkette ihrer ganzen Ausdehnung nach elektrisch wurden und die Eigenschaft erhielten, leichte Körperchen anzuziehen, sobald man die Glasröhre durch Reiben elektrisch machte. Dadurch war bewiesen, dass die Metalle nicht nur den elektrischen Zustand anzunehmen, sondern dass sie ihn auch fortzuleiten im Stande sind.

Dieselbe Eigenschaft haben aber alle anelektrischen Körper, man nannte sie deshalb Leiter der Elektricität. Die idioelektrischen Körper dagegen sind keine Leiter; denn wenn man z. B. einen Glasstab durch Reiben an einem Ende elektrisch macht, so zeigt das andere Ende keine Spur von Anziehung.

Man kann diese Fundamentalwahrheit sehr gut mit Hilfe der Elektrisirmaschine nachweisen, welche wir, ohne noch ihre Einrichtung zu kennen, doch vor der Hand schon als Mittel anwenden können, um Elektricität zu entwickeln. Der Conductor der Maschine ist ein metallischer Körper, welcher elektrisch gemacht wird. Wenn man mit dem in den elektrischen Zustand versetzten Conductor einen langen an Seidenschnüren aufgehängten, oder bequemer einen auf einem Glasfusse stehenden Metallcylinder in Verbindung bringt, so wird der Metallcylinder seiner ganzen Ausdehnung nach elektrisch; sobald man ihn aber durch irgend einen guten Leiter mit dem Boden in Verbindung setzt, verschwindet alle Elektricität augenblicklich.

Es geht daraus auch hervor, dass die Seidenfäden, der Glasstab Nichtleiter der Elektricität, dass sie Isolatoren sind. Ein Leiter der Elektricität kann also nur so lange elektrisch bleiben, als er isolirt, d. h. von lauter Nichtleitern umgeben ist. Auch die Luft ist ein Isolator, denn sonst würde die Elektricität von dem Metalle augenblicklich durch die Luft abgeführt werden.

Wasser und Wasserdampf sind gute Leiter, deshalb verliert sich die Elektricität, welche auf einem isolirten Leiter bei trockener Luft lange haftet, sehr schnell, wenn die Luft feucht ist.

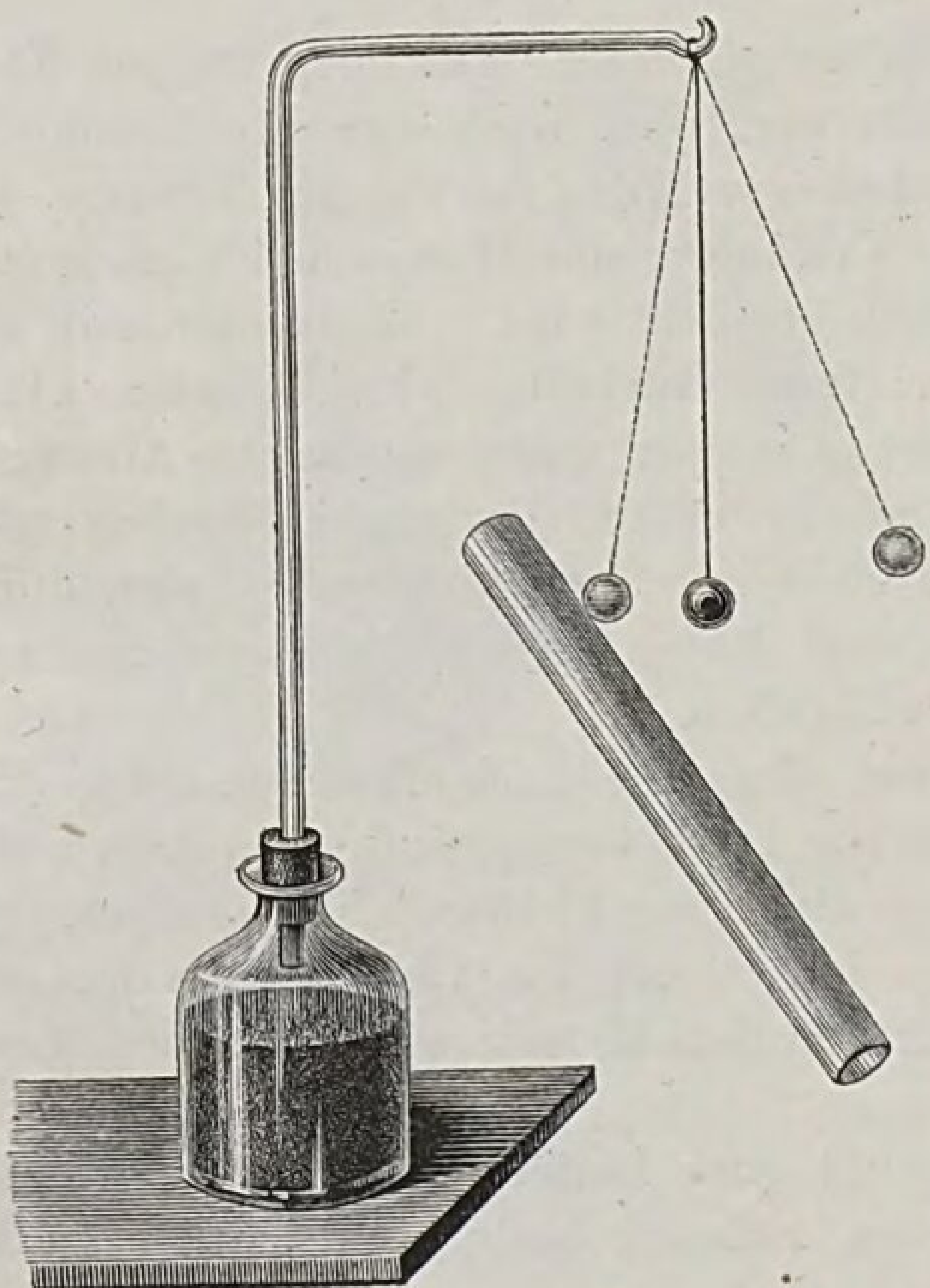
Auch der menschliche Körper ist ein guter Leiter. Wenn man, auf dem Boden stehend, den Conductor der Elektrisirmaschine anfasst, so wird alle Elektricität, welche durch das Drehen derselben erzeugt wird, sogleich abgeführt; wenn man aber auf einem schlechten Leiter, etwa auf einem Harzkuchen, steht, so wird der ganze Körper elektrisch. Man sieht jetzt auch ein, warum eine Metallstange, die man in der Hand hält, durch Reiben nicht elektrisch wird; alle Elektricität nämlich, welche man durch das Reiben erzeugt, wird sogleich durch den menschlichen Körper wieder abgeführt.

Die besten Isolatoren werden Leiter, wenn sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt. Es ist deshalb für den Erfolg elektrischer Versuche von der grössten Wichtigkeit, Glasfüsse, Harzstangen etc., welche einen Leiter isoliren sollen, durch Erwärmen und Reiben gehörig trocken zu machen.

Statt die Körper in Leiter und Nichtleiter einzutheilen, müsste man sie, um genauer zu reden, gute oder schlechte Leiter nennen, denn absolute Nichtleiter giebt es nicht. Schellack, überhaupt Harze, Seide und Glas sind die schlechtesten Leiter, die es giebt; die Metalle hingegen sind die besten Leiter.

33 **Von den beiden Arten der Elektricität.** Nehmen wir ein einfaches elektrisches Pendel (Fig. 79) zur Hand, dessen Kügelchen an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man eine geriebene Glas- oder Schellackstange nähert, so wird das Hollundermarkkügelchen angezogen, es berührt die Stange, bleibt aber nur einige Augenblicke daran haften, um alsbald abgestossen zu werden. Diese Repulsion rührt von der Elektricität her, welche dem Kügelchen durch die Berührung mit der Stange mitgetheilt worden ist, denn wenn man es mit der Hand berührt, und es dadurch wieder in seinen natürlichen Zustand zurückgeführt hat, wird es von Neuem angezogen und nach der Berührung abermals abgestossen. Dass das abgestossene Kügelchen wirklich elektrisch ist, geht auch daraus hervor, dass es selbst von Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden (es empfiehlt sich, zu diesem Versuche Leiter zu wählen), angezogen wird.

Fig. 79.



Wenn man zwei isolirte Pendel nimmt, von denen das eine durch Berührung einer mit Seidenzeug geriebenen Glasstange, das andere durch eine mit Tuch geriebene Schellackstange elektrisch gemacht worden ist, so beobachtet man, dass das von dem Glasstabe abgestossene Kügelchen von der Schellackstange, das vom Schellack abgestossene aber vom Glase angezogen wird.

Die Elektricität des geriebenen Glases ist also nicht identisch mit der des Harzes, weil jede dasjenige Pendel anzieht, welches die andere abstösst.

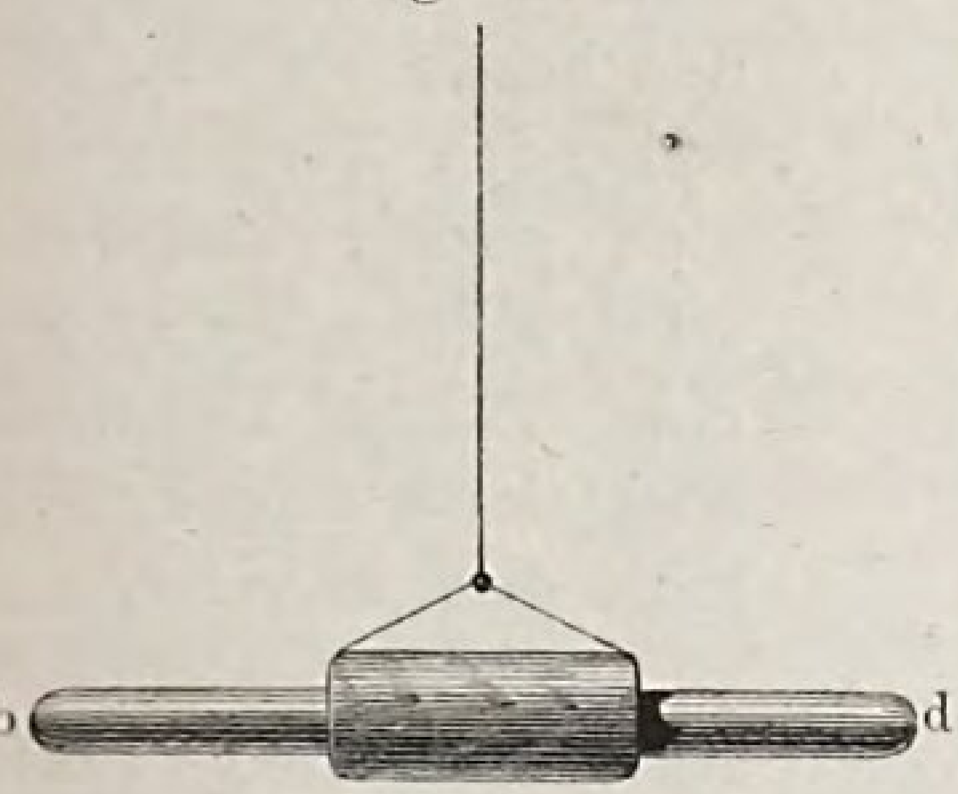
Die beiden Elektricitäten hat man mit dem Namen der Glaselektricität und der Harzelektricität bezeichnet. Die Glaselektricität wird auch die positive, die Harzelektricität die negative genannt.

Die Entdeckung der beiden verschiedenen Elektricitäten wurde von **Dufay** im Jahre 1773 gemacht.

Dass sich gleichnamig elektrisirte Körper abstossen, ungleichnamig elektrisirte aber anziehen, lässt sich auf folgende von **Frick** angegebene Weise darthun:

Ein ganz dünner Metalldraht oder auch ein ungedrehter Seidenfaden von 60 bis 100 cm Länge trägt unten eine ungefähr 3 cm lange hölzerne Hülse, Fig. 80, in welche man einen Glas- oder Harzstab *b d* einschieben kann. Ein solcher Stab, in der Hülse liegend, kann sich

Fig. 80.



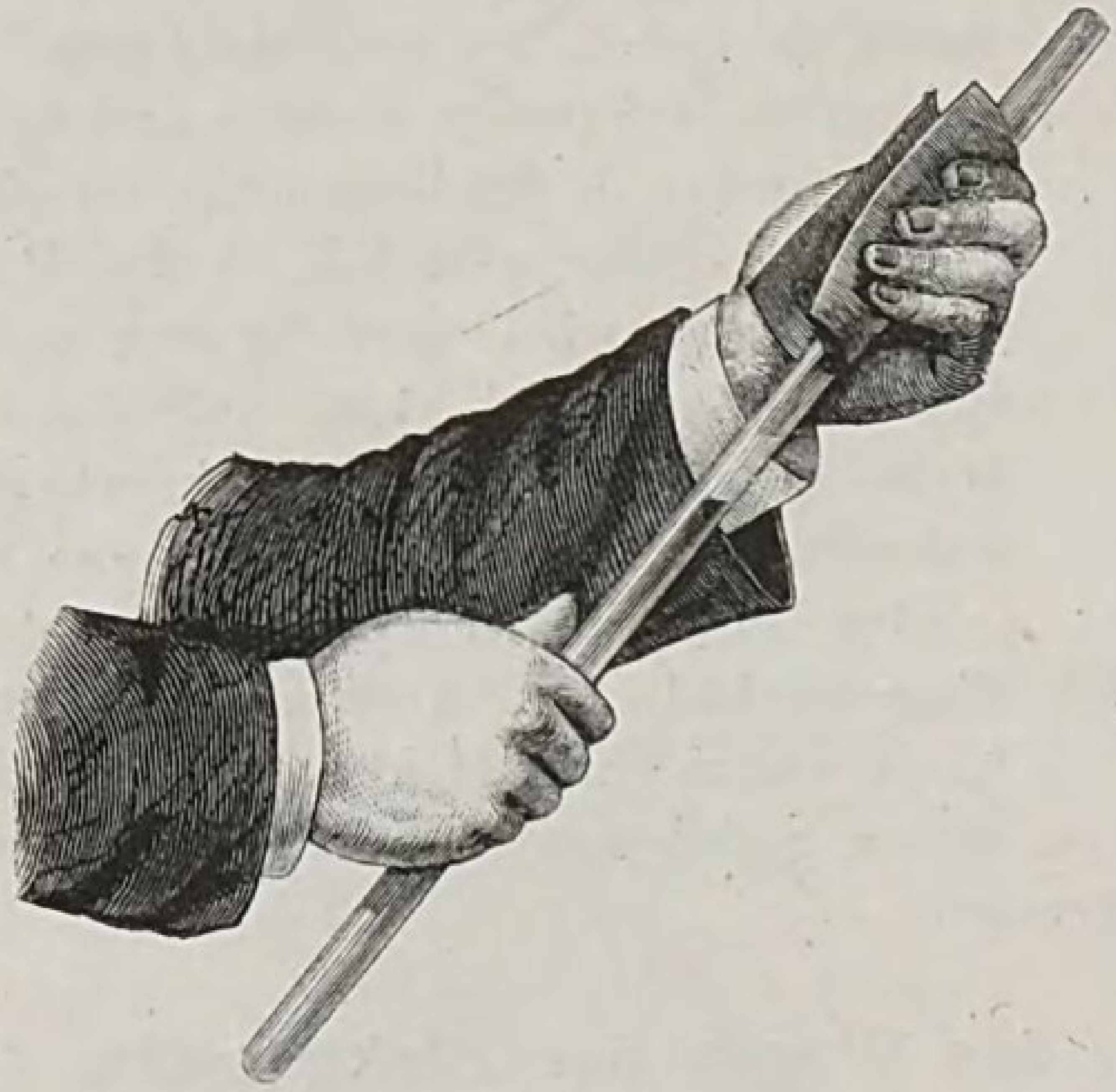
natürlich nur in horizontaler Ebene um die verticale Axe des Fadens drehen. — Wird nun ein durch Reiben positiv elektrisch gemachter Glasstab in die Hülse eingelegt, so wird derselbe von einem zweiten ihm genäherten, auf dieselbe Weise geriebenen Glasstab abgestossen, während eine geriebene Harzstange den in der Hülse liegenden in horizontaler Ebene leicht drehbaren Glasstab anzieht.— Liegt ein negativ elektrischer Harzstab in der Hülse, so wird er von einem geriebenen Harzstab abgestossen, von einem Glasstab aber angezogen.

Vorstellungen über das Wesen der Elektricität. Zur 34
Erklärung der elektrischen Erscheinungen hat man die Hypothese aufgestellt, dass es zwei besondere imponderable Fluida gebe, welche die Eigenschaft haben, dass die Theilchen desselben Fluidums sich gegenseitig **abstossen**, während die Theilchen des einen Fluidums **anziehend** auf die des anderen wirken. Obgleich nun diese Hypothese bei dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft ziemlich unwahrscheinlich geworden ist, so behält man doch vorderhand deren Ausdrucksweisen bei, um die mannigfaltigen Erscheinungen von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus ordnen und vortragen zu können. Man spricht also noch immer von den Elektricitäten, als wenn es Fluida wären, welche „strömen, abfliessen, sich ausbreiten" und so weiter können. Sollte es, wie zu hoffen ist, einstens gelingen, diese Vorstellung durch eine richtigere zu ersetzen, so werden die beobachteten Thatsachen und abgeleiteten Gesetze deshalb nicht ihre Gültigkeit verlieren, es wird nur nöthig werden, die in die Ausdrucksweise der alten Hypothese gefassten Thatsachen und Gesetze in die Sprache der neuen Hypothese zu übertragen. Nach der bisherigen Vorstellungsweise befindet sich ein Körper im **unelektrischen Zustande**, wenn er gleich viel von jedem Fluidum enthält, so dass sich die in ihm enthaltenen, mit einander verbundenen Fluida gegenseitig in ihren Wirkungen neutralisiren. Ein Körper ist aber **elektrisch**, wenn er einen Ueberschuss des einen oder des andern Fluidums enthält.

Die elektrischen Fluida wären demnach in ihren Eigenschaften vielfach den supponirten magnetischen ähnlich; ein wesentlicher Unterschied fände aber darin statt, dass die magnetischen Fluida in den Eisen- oder Stahlpartikelchen gleichsam eingeschlossen nicht aus denselben heraustreten, während die elektrischen Fluida frei von einem Körper zum andern übergehen können.

Wenn durch Reiben in einem Körper $+ E$ frei gemacht wird, so muss in gleichem Maasse auch $- E$ entwickelt werden. Wenn also von den beiden an einander reibenden Körpern der eine positiv elektrisch wird, so muss der andere eine Ladung negativer Elektricität zeigen. Man kann dies dadurch zeigen, dass man einen Glasstab mit einer Platte von etwas dickem vulcanisirten Kautschuk reibt, wie dies in Fig. 81 angedeutet wird; nähert man die geriebene Seite der Kautschukplatte der Kugel des elektrischen Pendels, Fig. 79, nachdem man dieselbe mit $- E$ geladen hat, so wird die Kugel abgestossen; die Kautschukplatte ist also gleichfalls negativ elektrisch, während der durch Reiben positiv gewordene Glasstab die negativ elektrische Kugel anzieht.

Fig. 81.



Da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden E in gleichem Maasse enthält, so giebt es keinen Grund, anzunehmen, dass er besonders geeignet sei, vorzugsweise die eine aufzunehmen und zurückzuhalten, er kann also auch durch Reiben bald $+$, bald $-$ elektrisch werden, je nachdem man ein anderes Reibzeug wählt. So kommt es z. B. häufig vor, dass Glasstäbe mit Wolle gerieben negativ werden, während sie beim Reiben mit Kienmayer'schem Amalgam (1 Gewichtstheil Zinn, 1 Zink, 2 Quecksilber; dieses Gemisch wird frisch gepulvert auf ein schwach mit Fett bestrichenes Leder aufgetragen) stets positive Elektricität annehmen.

Es hängt dies offenbar von dem Oberflächenzustande des Glases ab. Heintz hat gefunden, dass ein Glasstab, welchen man mehrmals durch die Flamme einer Spirituslampe gezogen hat, bei schwachem Reiben mit Tuch negativ elektrisch wird, während sich bei stärkerem Reiben die positive Elektricität wieder einstellt. — Die Weingeistflamme wirkt

hier wohl nur insofern, als sie das Glas von der Luftschicht befreit, welche gewöhnlich auf der Oberfläche desselben condensirt ist.

Wenn man die eine Längenhälfte eines Glasstabes matt schleift, der anderen aber die natürliche Oberfläche lässt, so zeigt das matte Ende, mit Wolle gerieben, negative Elektricität, während das glatte Ende unter denselben Umständen positiv wird. Mit Amalgam gerieben, werden beide Enden des Glasstabes positiv.

Greiss hat gefunden, dass Siegellack mit Zunder oder Korkholz gerieben positiv elektrisch wird.

Nach Poggendorff können selbst diejenigen Isolatoren, welche durch Reiben mit den meisten organischen Substanzen sehr stark negativ elektrisch werden, wie z. B. Horngummi (Kammmasse) und das durch seine Entzündlichkeit bekannte Pyroxylin-Papier (Pyropapier) eine starke Ladung positiver Elektricität annehmen, wenn sie an einem mit Kienmayer'schem Amalgam überzogenen Stück Leder gerieben oder vielmehr sanft gestrichen werden.

Ein auf diese Weise positiv gemachter Streifen Pyropapier bildet ein ebenso empfindliches Elektroskop für positiv elektrische Körper, wie ein zwischen den Fingern durchgezogener und dadurch negativ elektrisch gemachter Streifen dieses Papiers es für negativ elektrische Körper ist.

Poggendorff fand ferner, dass Horngummi, Guttapercha, Kautschuk, Colophonium, Schellack, Schwefel, Seide, Pyropapier, Collodium etc. durch Reiben mit den sogenannten elektronegativen Metallen (Platin, Gold, Silber etc.) positiv elektrisch gemacht werden, während die elektropositiven Metalle (Zink, Kadmium, Eisen etc.) dieselben Substanzen in den negativen Zustand versetzen.

Die Anhänger der eben entwickelten Theorie, nach welcher es zwei verschiedene elektrische Fluida giebt, an deren Spitze Symmer steht, werden mit dem Namen der Dualisten bezeichnet, im Gegensatze zu den Unitariern, welche nach Franklin und Aepinus nur ein elektrisches Fluidum annehmen. Von diesem Fluidum muss in jedem Körper eine bestimmte Menge enthalten sein, wenn er sich im gewöhnlichen Zustande befindet. Ein Ueberschuss dieses Fluidums bedingt den positiv elektrischen, ein Mangel den negativ elektrischen Zustand; die einzelnen Theilchen dieser elektrischen Flüssigkeit stossen sich einander ab, die Körpertheilchen aber ziehen sie an. Diese Theorie erklärt allerdings die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung und die gegenseitige Abstossung positiv elektrischer Körper ganz gut, zur Erklärung der gegenseitigen Abstossung negativ elektrischer Körper muss sie aber die höchst unwahrscheinliche Hilfshypothese zur Hand nehmen, dass die aller elektrischen Flüssigkeit beraubten Körpertheilchen sich einander gleichfalls abstossen. Der Schwierigkeiten wegen, auf welche man bei der Erklärung mancher elektrischen Erscheinungen nach der Theorie der Unitarier stösst, ist sie gegenwärtig wohl fast von allen Physikern verlassen.

35 **Mittheilung der Elektricität.** Die freie Elektricität kann sowohl bei unmittelbarer Berührung als auch auf grössere Entfernungen hin von einem Körper zum anderen übergehen, immer hängt aber die Mittheilung von der Leitfähigkeit der Körper und der Grösse ihrer Oberfläche ab.

Bei der Berührung mit einem elektrisirten Körper nehmen schlechte Leiter die Elektricität nur unmittelbar an der berührenden Stelle auf, sie verbreitet sich nicht über ihre ganze Ausdehnung. Ebenso verliert ein elektrisirter Isolator, an einer Stelle berührt, nur unmittelbar hier etwas Elektricität, die ganze nicht berührte Oberfläche bleibt nach wie vor elektrisch. Es lässt sich dies sehr leicht mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange zeigen. Bei guten Leitern verhält sich die Sache ganz anders. An einem Punkte mit einem elektrischen Körper berührt, verbreitet sich die übergegangene Elektricität über den ganzen Leiter, und wenn man einen isolirten elektrisirten Leiter mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, so verliert er augenblicklich alle seine Elektricität.

Auch ohne unmittelbare Berührung kann die Elektricität von einem Körper zum andern übergehen, und man beobachtet dabei das merkwürdige Phänomen des elektrischen Funkens. Wenn man einem geriebenen Glas- oder Schellackstab einen Metallstab oder den Knöchel eines Fingers nähert, so sieht man ein Fünkchen überspringen und hört dabei ein knisterndes Geräusch. Sehr stark erhält man diese knisternden Funken, wenn man einen Bogen Papier, der auf einer warmen, wo möglich metallischen Unterlage liegt, mit Wollentuch peitscht und dann aufhebt; auf 2 bis 5 cm weit springen alsdann vom Papier die Funken auf den genäherten Finger über. Wenn der elektrisirte Körper metallisch und von bedeutender Oberfläche ist, wie der Conductor der Elektrisirmaschine, so werden die Funken stärker, sie springen unter Umständen schon in einer Entfernung von über 1 m über; ihr Licht ist dann blendend hell, und das Geräusch, welches sie begleitet, sehr stark.

Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, hat zuerst den elektrischen Funken beobachtet. Später zeigte Dufay zur allgemeinen Verwunderung, dass man selbst aus dem menschlichen Körper, wie aus dem Conductor der Maschine, Funken entlocken könne, wie wir später sehen werden.

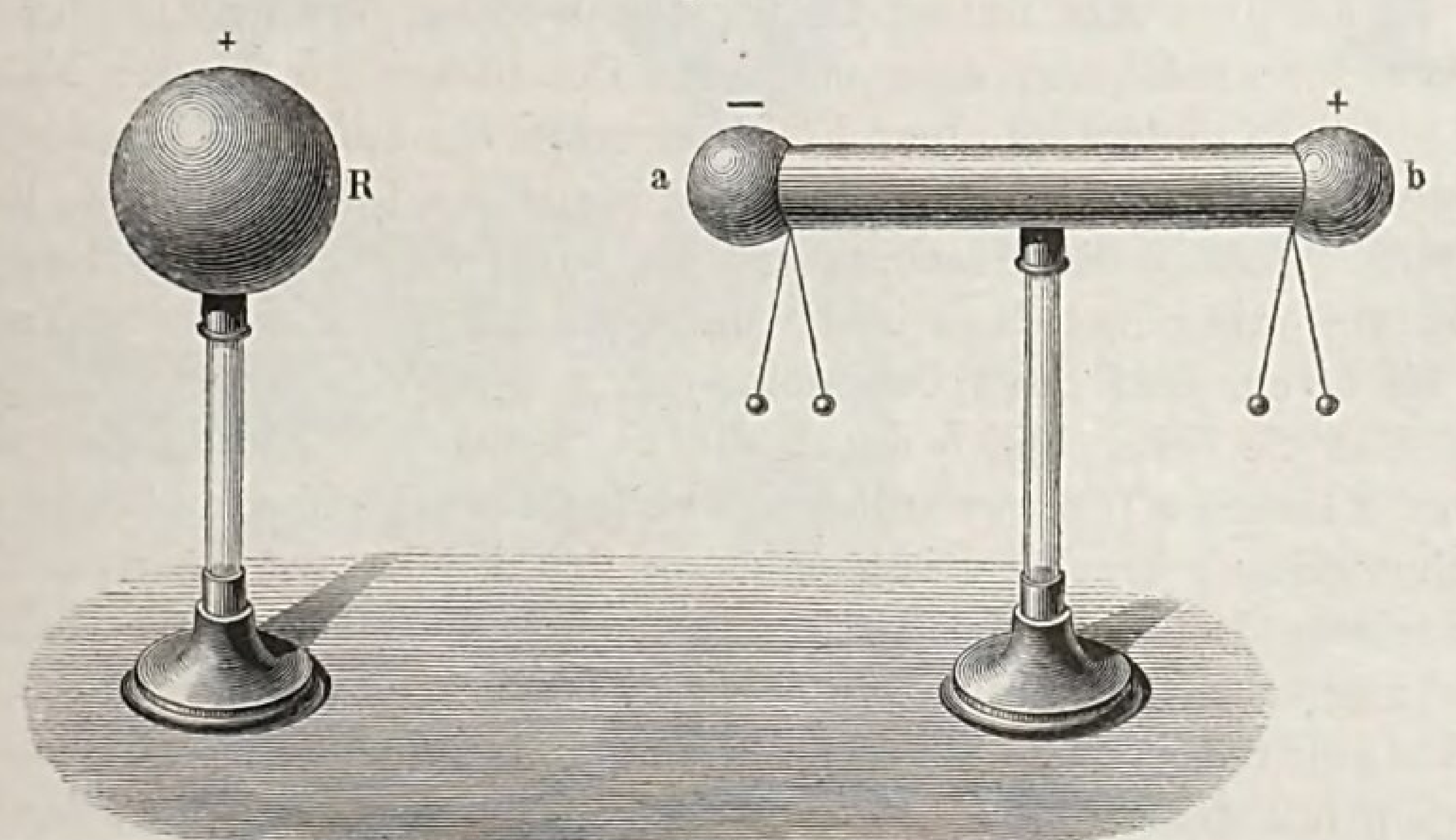
Wenn die Elektricität von einem isolirten Leiter auf einen andern übergeht, so vertheilt sie sich stets nach dem Verhältnisse der Oberflächen; damit also ein isolirter Leiter alle seine Elektricität verliere, muss man ihn mit einem andern in Berührung bringen, dessen Oberfläche unverhältnissmässig grösser ist, also z. B. mit dem Fussboden, denn dadurch ist er mit der ganzen Erdoberfläche in Verbindung, auf welcher sich seine Elektricität spurlos verliert, eben weil sie sich über eine so ungeheure Fläche gleichmässig vertheilt. Wenn man eine isolirte elektrisirte Metallkugel mit einer andern gleich grossen, gleichfalls

isolirten, aber nicht elektrischen in Berührung bringt, so wird erstere gerade die Hälfte ihrer E verlieren. Wenn man dem Conductor der Elektrisirmaschine eine isolirte Metallkugel nähert, so schlagen nur schwache Funken über, während man mit einem nicht isolirten Leiter dem Conductor sehr kräftige Funken entlocken kann.

Elektrische Influenz. Wir haben gesehen, dass jede der elek- 36
trischen Flüssigkeiten die gleichnamige abstösst und die ungleichnamige anzieht. Diese Anziehung und Abstossung äussert sich aber nicht allein auf die schon geschiedenen Elektricitäten, sondern auch auf die noch verbundenen, und daher kommt es, dass die verbundenen Elektricitäten eines Leiters, der sich im natürlichen Zustande befindet, durch die Annäherung eines elektrischen Körpers von einander geschieden, dass also jener Körper durch Vertheilung oder Influenz elektrisch wird.

Es lässt sich dies dadurch nachweisen, dass man einem isolirten Leiter ab, Fig. 82, einen elektrischen Körper R nähert oder auch da-

Fig. 82.

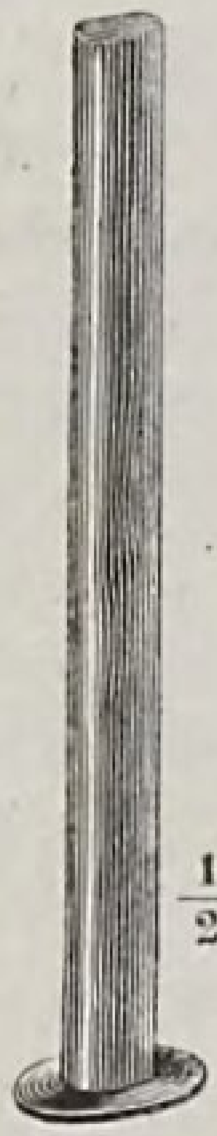


durch, dass man den isolirten Leiter ab in der Nähe des isolirten Leiters R aufstellt und dann dem Leiter R eine elektrische Ladung von entsprechender Stärke mittheilt. Hat man dem Leiter R eine positive Ladung mitgetheilt, so wird die Elektricität auf ab in der Weise vertheilt, dass sich die von R angezogene negative Elektricität auf der ihm zugewendeten Hälfte des Leiters ab und zwar vorzugsweise bei a anhäuft, während die abgestossene positive Elektricität auf die abgewandte Seite des Conductors getrieben wird und vorzugsweise bei b angehäuft ist.

Dass die Elektricitäten wirklich auf diese Weise vertheilt sind, lässt sich durch ein Probescheibchen nachweisen. Es ist dies ein Scheib-

chen von Rauschgold oder von Messingblech von 1 bis $1\frac{1}{2}$ cm Durchmesser, welches an einem ungefähr 20 cm langen Stäbchen von Schellack oder einer möglichst dünnen Stange des feinsten Siegellackes befestigt ist, Fig. 83. (Ein Glasstäbchen, selbst wenn es wohl gefirnisst ist, zeigt sich meist ungenügend zur Isolirung des Probescheibchens.) Ausgezeichnet isolirende Stäbchen für Probescheibchen liefern auch die Federhalter von Horngummi, welche gegenwärtig sehr verbreitet sind. Berührt man mit diesem Scheibchen den isolirten Leiter bei *a*, während der positiv elektrische Körper *R* sich in der Nähe befindet, so wird sich das Probescheibchen mit der hier angehäuften Elektricität laden, und welche Elektricität dies sei, erfährt man, wenn man es einem an einem Seidenfaden hängenden, etwa mit negativer Elektricität geladenen Hollundermarkkügelchen nähert. Dasselbe wird in unserem Falle von dem Probescheibchen abgestossen, weil sich dieses bei *a* mit $-E$ geladen hat.

Fig. 83.



$\frac{1}{2}$

Am einfachsten lässt sich dieser Versuch in der Weise ausführen, dass man den Conductor *ab* in der Nähe des Conductors einer Elektrisirmaschine aufstellt, dass also der Conductor der Elektrisirmaschine die Stelle des Conductors *R*, Fig. 82, vertritt. Sobald die Maschine gedreht wird, wird ihr Conductor positiv elektrisch und wirkt dann in der angegebenen Weise vertheilend auf den 40 bis 60 cm entfernten Conductor *ab*.

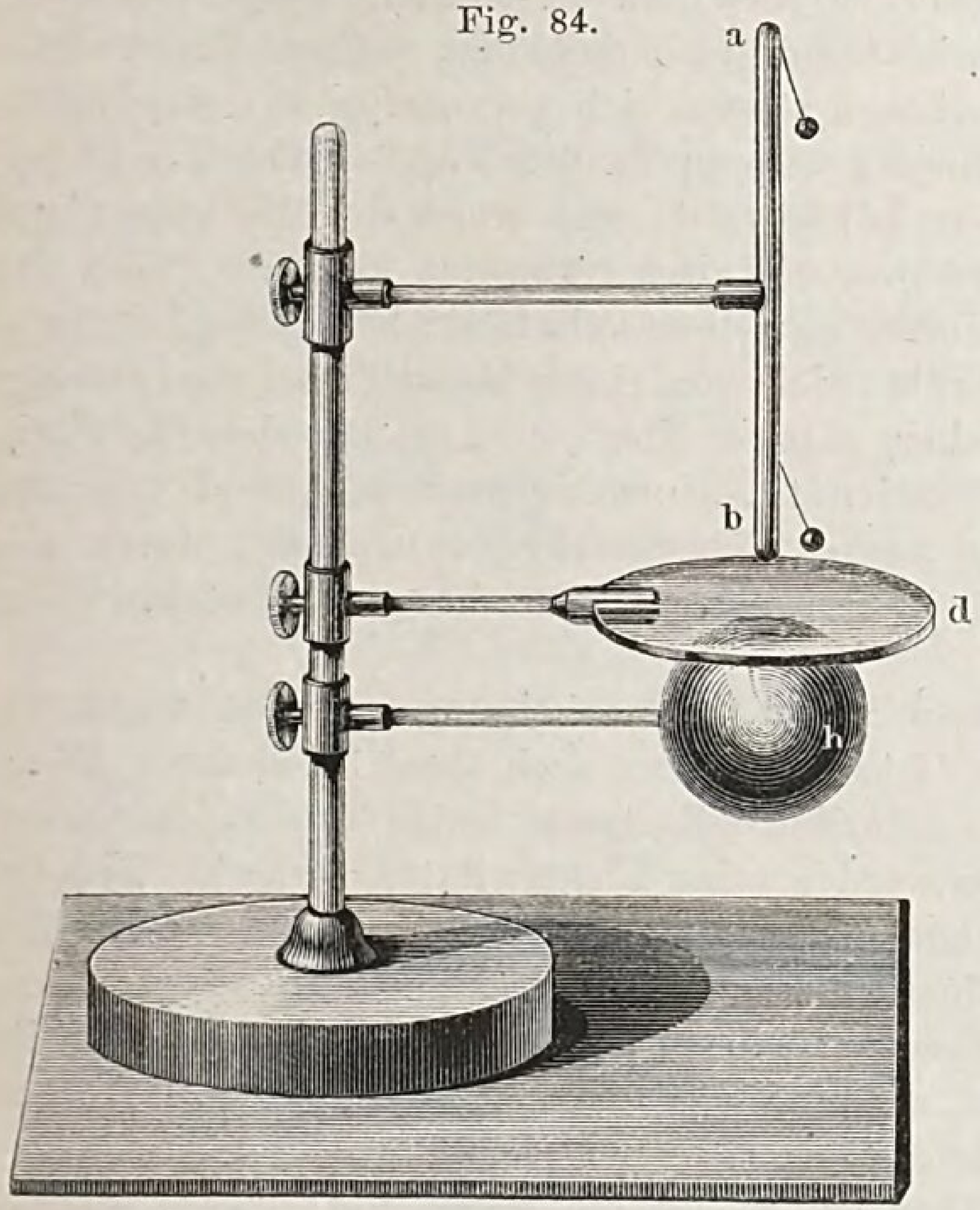
Um die bei *a* und *b* durch die vertheilende Wirkung des elektrischen Körpers *r* frei gewordene Elektricität auch ohne Probescheibchen nachzuweisen, brachte Biot nahe an den Enden des isolirten Leiters elektrische Doppelpendel an (an leinenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen), welche augenblicklich divergiren, sobald man einen elektrischen Körper *R* nähert; die Pendel bei *a* divergiren, weil beide Kugeln mit der durch *R* angezogenen, die bei *b*, weil sie mit der von *R* abgestossenen Elektricität geladen sind.

In dieser Form gelingt aber der Versuch nicht immer, weil die Pendel bei *a* durch die Einwirkung von *R* stark aus der verticalen Richtung abgelenkt und gegen *R* hingezogen werden, wodurch in der That Missverständnisse veranlasst wurden. Riess hat dem Fundamentalversuche der elektrischen Vertheilung eine zweckmässigere Form gegeben, durch welche alle Einwürfe beseitigt sind. Fig. 84 stellt den Riess'schen Vertheilungsapparat in $\frac{1}{5}$ der natürlichen Grösse dar. Ein cylindrischer Messingstab *ab* ist mittelst eines wohl isolirenden Glasarmes vertical stehend an einem passenden Stativ so angebracht, dass er auf- und niedergeschoben und in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. In gleicher Weise trägt das Stativ die Glasscheibe *d* und die hohle Messingkugel *h*, welche so gestellt werden, dass ihre Mittelpunkte vertical unter der verticalen Axe des Stabes *ab* stehen, dass der Abstand

der Kugel von dem Stabe ungefähr 3 cm beträgt und die Glasscheibe frei zwischen ihnen steht.

An dem oberen und unteren Ende des Metallstabes *a b* sind an ungefähr 3 cm langen Leinenfäden hängend zwei Hollundermarkkügelchen angebracht, welche sogleich von dem Metallstabe, an welchem sie sonst anliegen, abgestossen werden, sobald man der Kugel *h* Elektricität mittheilt. Nähert man aber den abgestossenen Pendeln eine geriebene Siegellackstange, so wird das eine von derselben angezogen, das andere wird abgestossen, ein Beweis, dass das eine Pendel mit positiver, das andere mit negativer Elektricität geladen ist. Nehmen wir z. B. an, man habe die Kugel *h* mit positiver Elektricität geladen, so wird man finden, dass das obere Pendel bei *a* gleichfalls positiv elektrisch ist, während das untere bei *b* eine negative Ladung zeigt.

Fig. 84.



Ein durch Vertheilung elektrisirter Körper wirkt seinerseits auch wieder vertheilend auf andere, die ihm hinlänglich genähert werden, die sich also in seiner Wirkungssphäre befinden, und diese Wirkungen können sich auf ziemliche Entfernungen fortpflanzen.

Setzt man den durch Vertheilung elektrisch gemachten isolirten Leiter *a b*, Fig. 82, mit dem Boden in leitende Verbindung, indem man ihn etwa mit dem Finger berührt, während die vertheilende Wirkung von *R* noch fortdauert, so fallen die Pendel bei *b* zusammen, während die Pendel bei *a* noch etwas weiter divergiren. Ebenso wird das obere Pendel am Stabe, Fig. 84, an den Stab herabfallen, das untere noch mehr steigen, wenn man den Stab ableitend berührt. Man kann also diejenige Elektricität, welche mit der des vertheilenden Körpers (*R*, Fig. 82, oder *h*, Fig. 84) gleichnamig ist, ableiten, während die von dem influirenden Körper angezogene Elektricität durchaus nicht abgeleitet werden kann, indem ja die Pendel bei *a*, Fig. 82 und bei *b*, Fig. 84 nicht zusammenfallen, wie man den Leiter *a b* auch berühren mag, so lange die Ein-

wirkung des vertheilenden Körpers noch fortdauert. Die durch die vertheilende Wirkung der elektrischen Kugel *h*, Fig 84, in das untere Ende des Stabes *ab* gezogene Elektricität (oder die durch *R*, Fig. 82, nach *a* gezogene) ist also hier gebunden, sie wird eben durch die Elektricität der Kugel *h*, Fig. 84 (oder *R*, Fig. 82), an dieser Stelle zurückgehalten.

Die gebundene Elektricität hat durchaus keine anderen Eigenschaften als die freie; ihre Theilchen stossen sich gegenseitig ab, wie schon die fortwährende Divergenz des unteren Pendels Fig. 84 (oder die Divergenz der Pendel bei *a*, Fig. 82) beweist, und wenn sich die gebundene Elektricität nicht über den ganzen Leiter verbreiten kann, so rührt das nicht daher, dass die Theilchen derselben kein Bestreben hätten, sich von einander zu entfernen, es rührt nicht von einem Mangel am Propagationsvermögen her, sondern daher, dass der Kraft, mit welcher sich die Theilchen der gebundenen Elektricität gegenseitig abstossen, und vermöge welcher sie sich über den ganzen Leiter verbreiten würden, durch die von den vertheilenden Körpern ausgehende Anziehung das Gleichgewicht gehalten wird.

Die oben beschriebenen Anziehungserscheinungen finden durch die Gesetze der elektrischen Vertheilung nun auch ihre Erklärung. Wenn einem Leiter, der sich im natürlichen Zustande befindet, ein elektrischer Körper genähert wird, so werden seine Elektricitäten zerlegt. Dies ist nun auch bei dem Korkkügelchen des einfachen elektrischen Pendels der Fall. Ist es an einem Seidenfaden aufgehängt, so kann die abgestossene *E* nicht aus dem Kügelchen entweichen, sie wird auf die hintere Seite des Kügelchens getrieben, während sich die angezogene auf der Vorderseite anhäuft. Weil aber die angezogene *E* dem Körper, von welchem die Wirkung ausgeht, näher ist, so ist die Anziehung stärker als die Abstossung; die Kraft, welche das Kügelchen gegen den elektrischen Körper hintreibt, ist der Differenz dieser beiden entgegengesetzten Kräfte gleich, darum wird auch hier erst bei sehr geringer Entfernung des elektrischen Körpers eine Anziehung erfolgen. Weit energischer ist die Wirkung, wenn das Kügelchen an einem leitenden Faden aufgehängt ist, weil alsdann die abgestossene *E* entweichen kann und durch sie die Anziehung nicht geschwächt wird.

Ein Kügelchen von Schellack wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers nur schwach angezogen, weil der genäherte Körper nur sehr schwer Vertheilung in demselben hervorbringen kann. Es ist dies eine Erscheinung, welche der ganz analog ist, dass ein Magnet in einem Stück weichen Eisens eine magnetische Vertheilung hervorbringt, in einem Stück Stahl aber ungleich schwieriger.

37 **Elektroskope.** Das Princip der elektrischen Vertheilung liefert uns ein vortreffliches Mittel zur Construction von Elektroskopen, d. h. von Apparaten, vermittelst deren man auch schwächere elektrische Ladungen nachweisen kann. Wenn am unteren Ende eines isolirten

Metallstabes ein Paar elektrische Pendel hängen, so divergiren diese, sobald man von oben her einen elektrischen Körper nähert. Um aus einer solchen Vorrichtung ein brauchbares Elektroskop zu machen, hat man vor Allem dafür zu sorgen, dass die Pendel sich in einem Glasgefässe befinden, damit störende Luftströmungen von ihnen abgehalten werden, und dann, dass das leitende System, welches die Pendel trägt, gehörig isolirt sei.

Bei Franklin's Elektroskop bestanden die Pendel aus zwei einfachen leinenen Fäden. Canton versah diese Fäden mit Korkkügelchen, um sie besser zu spannen. Saussure wandte als elektrische Pendel seines Elektroskops zwei feine Silberdrähte mit unten angesteckten Hollundermarkkügelchen an. Volta ersetzte diese Silberfäden durch gerade, ganz feine Strohhälmchen, und Bennet endlich setzte an die Stelle der Strohhalme zwei schmale Streifen von Blattgold.

Aus dem Grade der Divergenz der Pendel kann man auf die Stärke ihrer elektrischen Ladung schliessen, und deshalb nennt man solche Elektroskope auch Elektrometer, und zwar namentlich, wenn sie mit einem Gradbogen versehen sind, an welchem man die Grösse der Divergenz ablesen kann.

Fig. 85 stellt ein einfaches Goldblattelektroskop, Fig. 86 ein Strohhalmelektrometer dar.

Fig. 85.

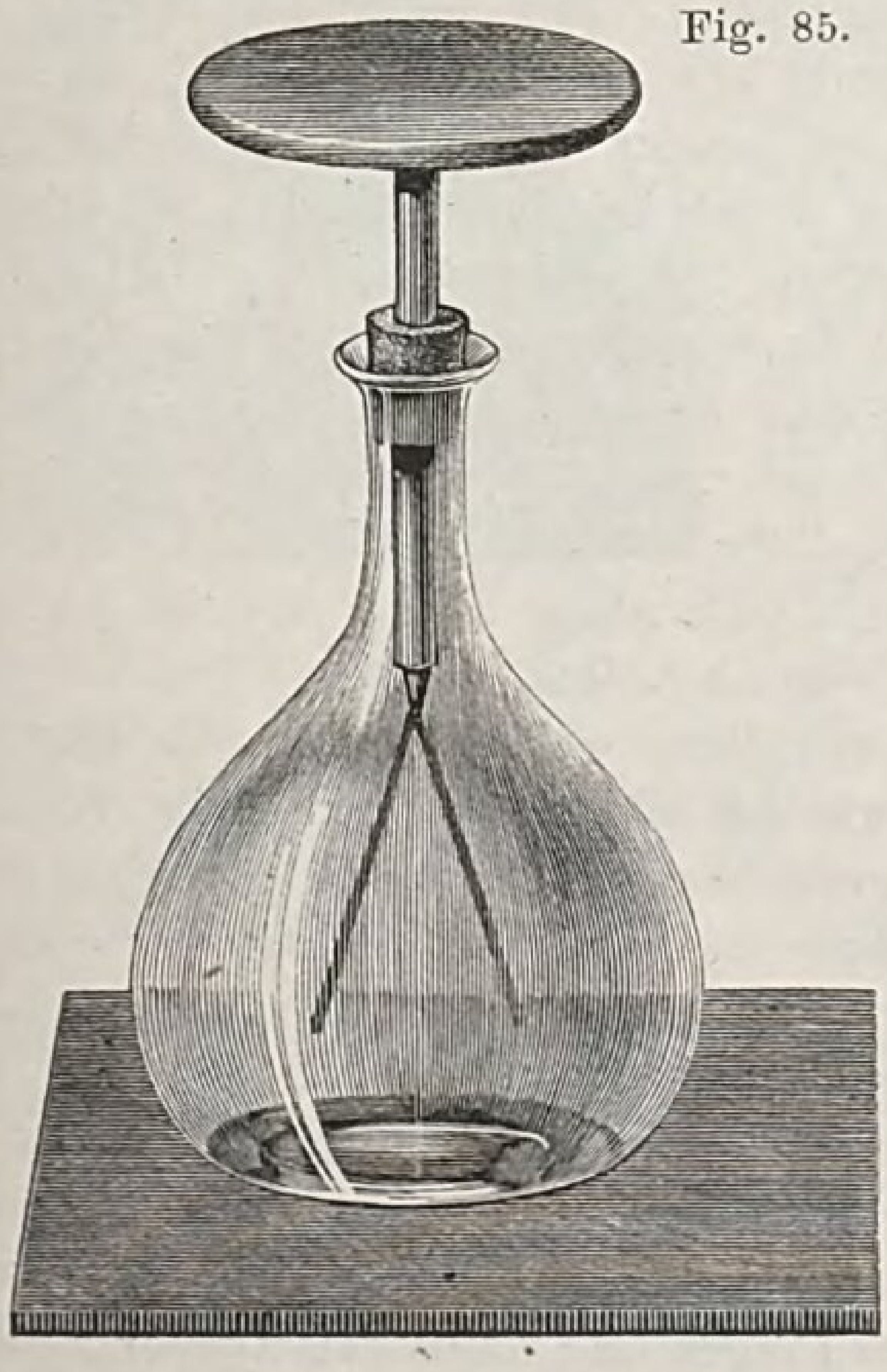
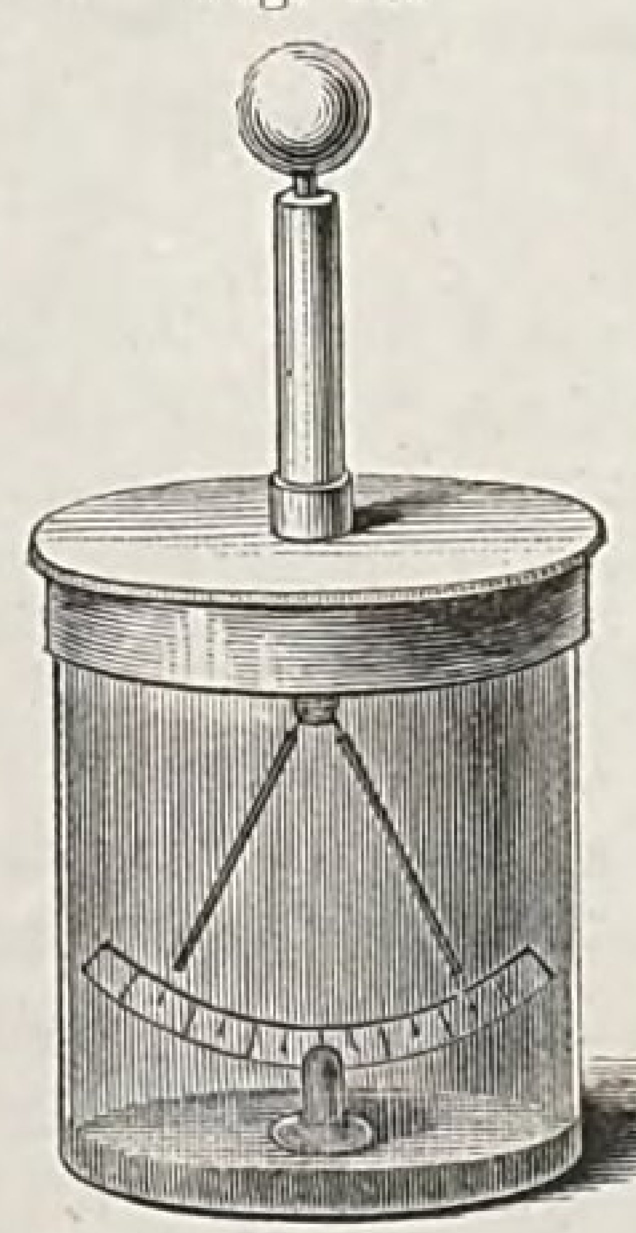


Fig. 86.

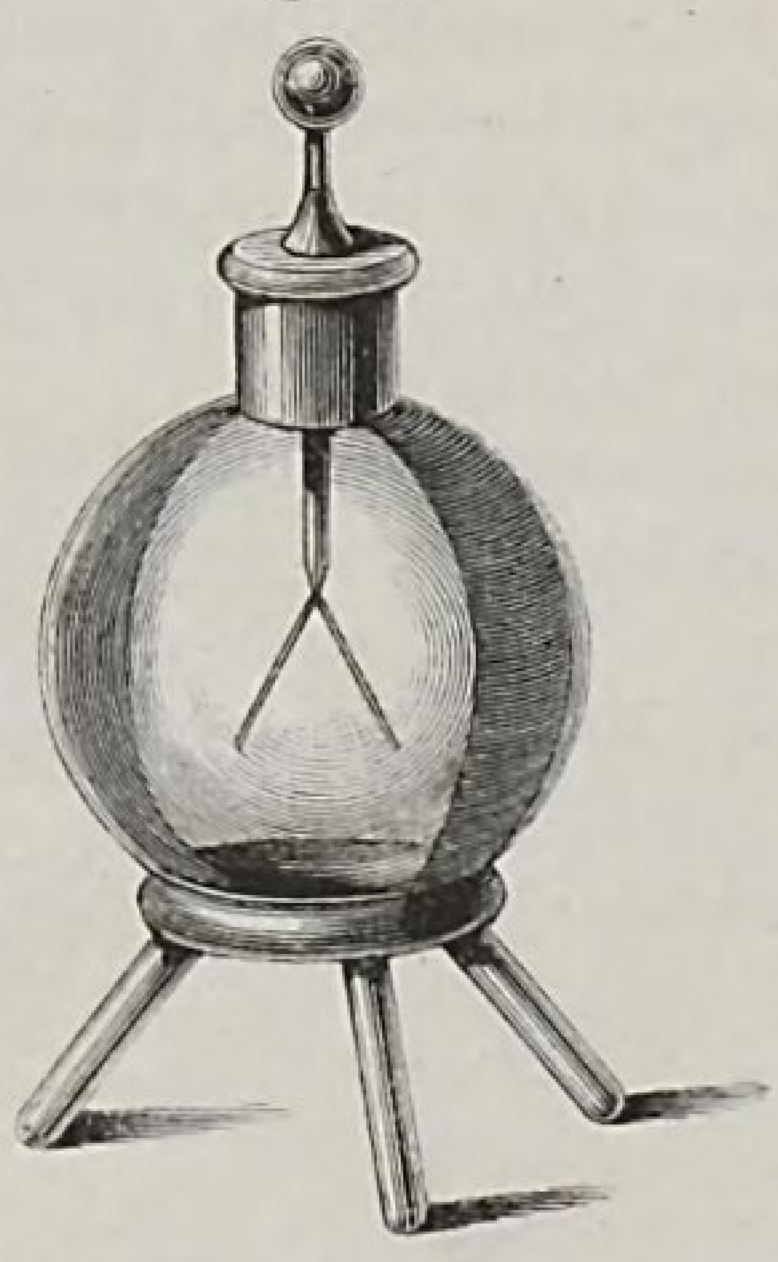


Bei den beiden hier abgebildeten Instrumenten ist die Isolation des Messingstäbchens, an welchem unten die Pendel hängen, dadurch bewirkt, dass es in einer Glasröhre steckt. An dem oberen Ende dieses Zuleitungsstäbchens ist nun entweder eine Metallplatte angeschraubt, wie Fig. 85, oder eine kleine Kugel, wie Fig. 86.

Man kann das zuleitende Messingstäbchen entweder dadurch in der Glasröhre befestigen, dass man es mit Siegellack in derselben einkittet, oder dass man, nach Buff's Vorschlag, das Stäbchen an zwei Stellen mit Seide so dick umwickelt, dass es in die vorher innen und aussen mit Schellack gefirnisste Röhre eingeschoben, mit einiger Reibung noch auf- und niederbewegt werden kann.

Ganz vorzüglich ist die Isolirung an den kleinen Kugelelektroskopen, Fig. 87, welche vorzugsweise von verschiedenen Berliner Mechanikern angefertigt werden. Um den Hals eines 8 cm weiten Glasballons ist eine Messingfassung mit innerlichem Schraubenzuge gekittet; in diese Fassung wird eine dicke Messingscheibe mit zwischengelegter Lederscheibe eingeschraubt. Die Scheibe hat ein 6 mm weites Loch, in welches der 2 mm dicke, 5 cm lange Zuleitungsdraht mit Schellack eingekittet wird. Zu diesem Zwecke umgiebt man den Draht an der geeigneten Stelle mit einer dicken Lage von Schellack, rollt diese auf Glas zu einem Cylinder aus und steckt dann den Draht mit dieser Schellackhülse in das Loch der heissen Messingplatte. Innerhalb des Ballons endigt der Draht mit einer Zuschärfung, an welcher die 3 cm langen Goldblättchen befestigt sind, welche selbst bei der stärksten Divergenz die Glaswand nicht berühren können. Den Flächen der Goldblättchen gegenüber befinden sich an der Aussenseite des Ballons Stanniolstreifen, welche die Messingfassung mit dem Fusse des Elektroskops verbinden. Der Ballon muss innerlich sehr trocken sein und wird deshalb mässig erwärmt, ehe man die Messingplatte luftdicht aufschraubt.

Fig. 87.

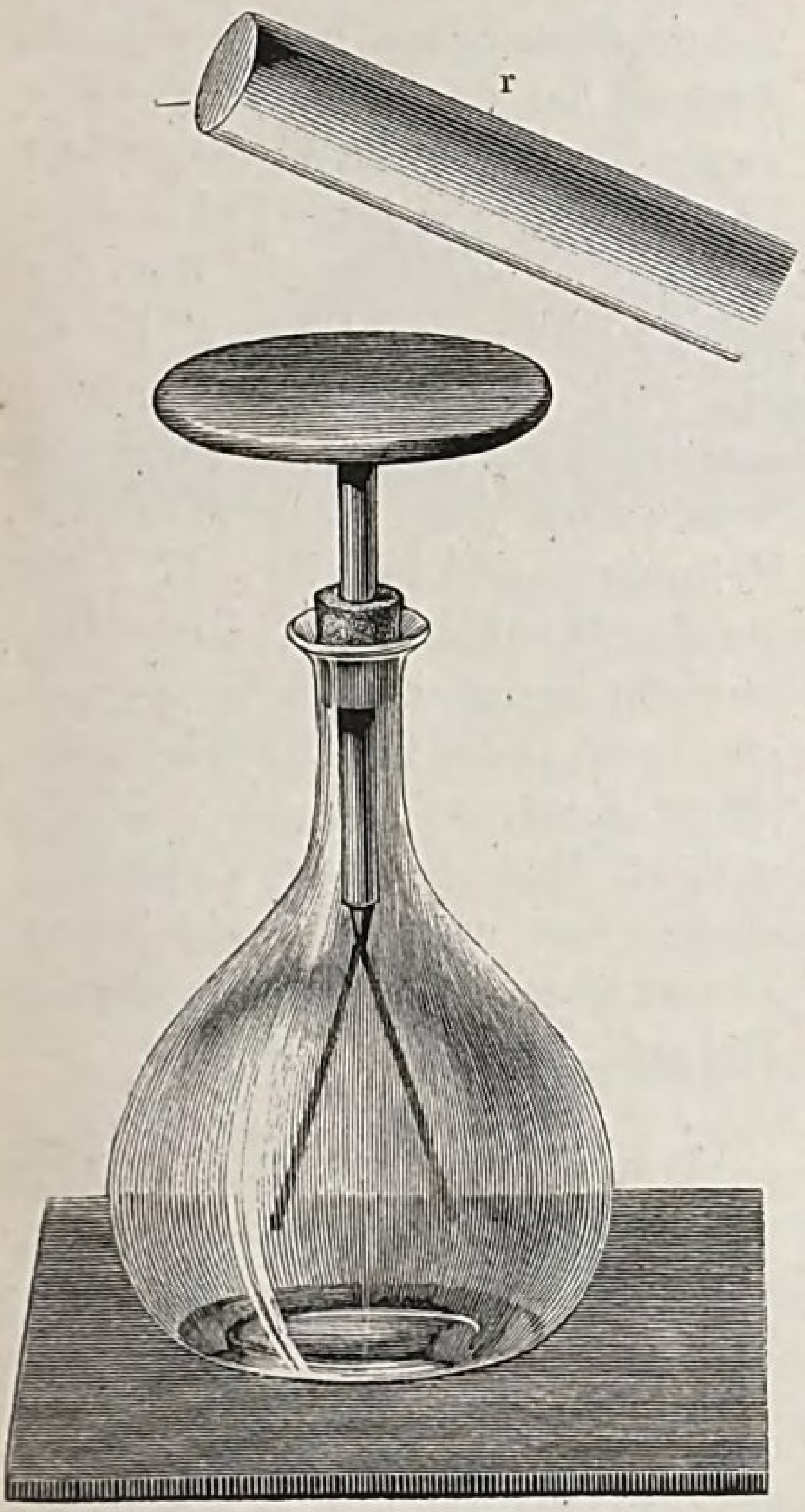


Ein sorgfältig verfertigtes Elektroskop dieser Art ist im Stande, eine mässige Ladung Stunden lang zu halten.

Wenn man untersuchen will, von welcher Natur die Elektricität irgend eines Körpers sei, so muss das Elektroskop schon im Voraus mit einer bekannten Elektricität geladen werden; dies geschieht, indem man einen Körper r, Fig. 88, von bekannter Elektricität von Oben her nähert und die Platte des Elektroskops mit dem Finger berührt. Dadurch wird alle von r abgestossene Elektricität abgeleitet, und im Apparate bleibt nur die angezogene, welche auf der Platte angehäuft ist. Sie ist hier gewissermaassen gebunden, d. h. sie kann sich nicht entfernen, weil sie durch r angezogen wird; deshalb divergiren die Blättchen nicht; sobald man aber erst den Finger und dann den Körper r entfernt, divergiren die Pendel, weil nun die Elektricität, welche durch den Körper r in der Platte gebunden worden war, sich frei über das ganze isolirte System, also auch über die Blättchen verbreitet. Die Elektricität, mit

welcher auf diese Weise das Elektroskop geladen wird, ist natürlich die entgegengesetzte des Körpers r; wenn man also eine negative Ladung bezweckt, so kann man eine mit Seide geriebene Glasstange anwenden, indem diese positiv elektrisch ist.

Fig. 88.



Nähert man dem so geladenen Elektroskop einen elektrischen Körper, so wird dadurch die Divergenz der Pendel entweder vergrössert oder verkleinert werden.

Die Divergenz der Pendel wird vergrössert, wenn die E des zu untersuchenden Körpers mit derjenigen gleichnamig ist, welche man dem Apparate mitgetheilt hatte, denn durch seine Annäherung wird zunächst die in der Platte vorhandene freie Elektricität in die Pendel hinabgetrieben, ihre Ladung also verstärkt.

Wenn die Elektricität des genäherten Körpers mit derjenigen ungleichnamig ist, welche man dem Elektroskope mitgetheilt hatte, so nimmt die Divergenz ab, weil die Elektricität jetzt aus dem Pendel weg und in die Platte gezogen wird.

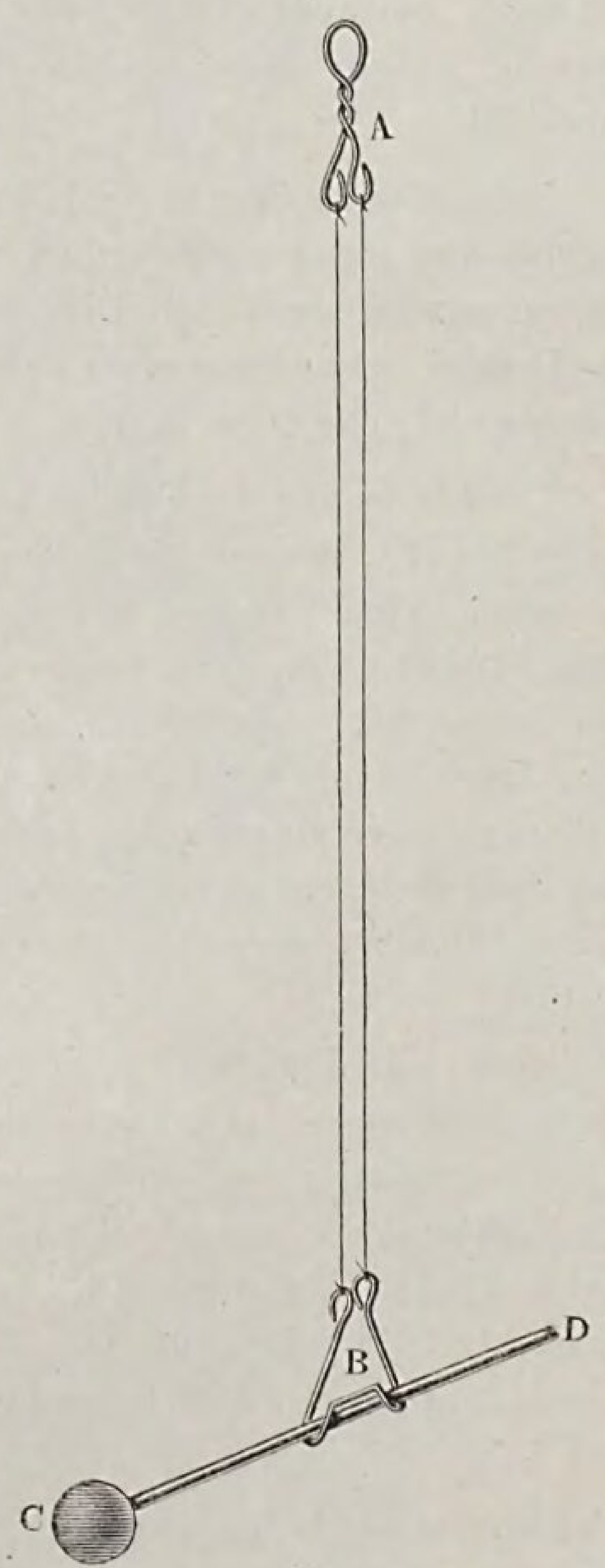
Hat man auf diese Weise die Pendel zusammenfallen gemacht, so divergiren sie von Neuem, wenn man den elektrischen Körper, welcher diesen Effect hervorgebracht hat, noch weiter nähert, weil nun durch seine kräftiger vertheilende Wirkung die ihm gleichnamige Elektricität in die Pendel hinab getrieben wird.

Wenn man einem geladenen Elektroskope einen nicht elektrischen Leiter nähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ebenfalls ab. Es ergiebt sich dies leicht als nothwendige Folge der Gesetze der elektrischen Vertheilung.

Bei den mit Gradbogen versehenen Elektrometern ist übrigens die Divergenz der Pendel (der Winkel, welchen die Pendel mit einander machen) keineswegs der elektrischen Ladung proportional. Um das Verhältniss zu erfahren, in welchem die Zunahme der Ladung zu der Vergrösserung der Divergenz steht, bedarf es für jedes der-

artige Instrument einer empirischen Graduirung, d. h. man muss dieses Verhältniss durch eine besondere Versuchsreihe ausmitteln*).

Fig. 89.



Ein für Vorlesungszwecke zum Nachweise sehr kleiner Elektricitätsmengen besonders gut geeigneter Apparat ist das Bifilarelektroskop von v. Beetz. An die Doppelöse A, Fig. 89, sind zwei lange Fäden angebunden, an welchen ein Haken B aus Aluminiumdraht hängt. In diesen wird ein Schellackstäbchen D von $1\frac{1}{2}$ bis 2 mm Dicke eingelegt, welches an dem einen Ende ein Hollundermarkkügelchen C trägt. Da die Directionskraft dieser Bifilaraufhängung eine sehr geringe ist, so wird die Gleichgewichtslage schon durch sehr geringe Kräfte gestört. Man elektrisirt das Kügelchen zuvor möglichst stark und nähert dann den zu prüfenden Körper.

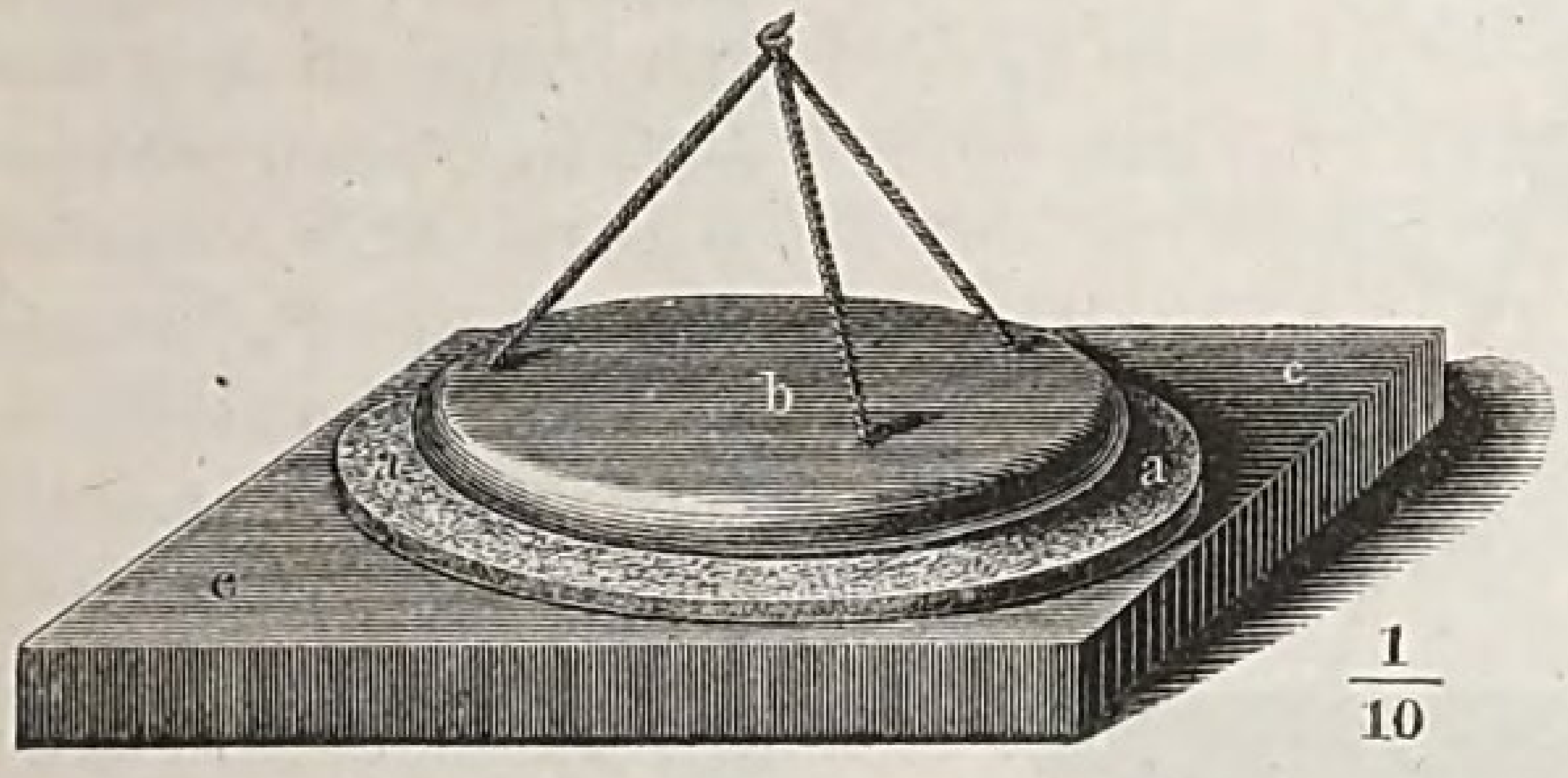
38 **Der Elektrophor.** Nachdem wir die Lehre von der elektrischen Vertheilung kennen gelernt haben, können wir nun auch die Wirkungsweise derjenigen Apparate besprechen, welche man vorzugsweise benutzt, wenn es sich um Elektricitätsentwickelung in bedeutenderem Maassstabe handelt, nämlich den Elektrophor und die Elektrisirmaschine.

Der von Wilke erfundene und von Volta verbesserte Elektrophor besteht aus einem Harzkuchen a, Fig. 90, welcher in eine metallene Form, gleichsam einen Teller von Metall, gegossen ist, oder auch nur, wie es unsere Figur zeigt, auf eine metallische Unterlage (ein mit Stanniol überzogenes Brett) c frei aufgelegt wird. Es ist sehr wesentlich, dass die Oberfläche des Harzkuchens möglichst eben sei. Auf diesen Harzkuchen, dessen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsschwanze oder einem Katzenpelze negativ elektrisch gemacht wird, setzt man einen mit einer isolirenden Handhabe versehenen oder an drei sei-

*) Eine grosse Genauigkeit ist jedoch auf diese Weise nicht zu erreichen. Wir werden die eigentlichen Elektrometer später besprechen.

denen Schnüren hängenden Metalldeckel frei auf. Die — E des Harzkuchens wirkt vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten im Deckel, die + E wird angezogen, die — E aber abgestossen; die + E wird sich deshalb im unteren, die — E im oberen Theil des Deckels anhäufen. Nähert man dem Deckel einen Finger, so springt ein Funken über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, so wird alle — E sich entfernen und der Deckel nur noch + E enthalten, die aber durch die — E des Harzkuchens gebunden ist, so lange der Deckel auf demselben liegen bleibt. Hebt man aber den Deckel von dem Kuchen ab, indem man ihn an den Schnüren in die Höhe zieht, so wird diese + E frei, und man kann nun aus dem Deckel einen Funken positiver Elektricität ziehen.

Fig. 90.



$\frac{1}{10}$

Als Elektrophormasse wendet man gewöhnlich Schellack an, welchem so viel Wachs oder Terpentin zugesetzt wird, dass die Masse weniger spröde wird (etwa 1 Theil Wachs oder Terpentin auf 5 Theile Schellack). Böttger empfiehlt als sehr wirksam und wenig spröde eine Masse aus 5 Gewichtstheilen Schellack, 5 Theilen Mastix, 2 Theilen venetianischem Terpentin und 1 Theil Marineleim (einer aus Schellack, Steinkohlentheer und Kautschuk bestehenden Masse).

Wenn die Harzmasse in einen Teller von Blech eingegossen wird, so bekommt der Elektrophor leicht Risse, weil sich bei Temperaturveränderungen das Metall stärker ausdehnt und zusammenzieht als das Harz; deshalb ist es besser, den Harzkuchen frei auf die leitende Unterlage aufzulegen, wie unsere Figur zeigt; nur muss man bei dieser Vorrichtung dafür Sorge tragen, dass der Elektrophorkuchen stets auf einer ebenen Unterlage aufliegt, weil er sich sonst krümmt, wenn die Masse bei heissem Wetter weich wird.

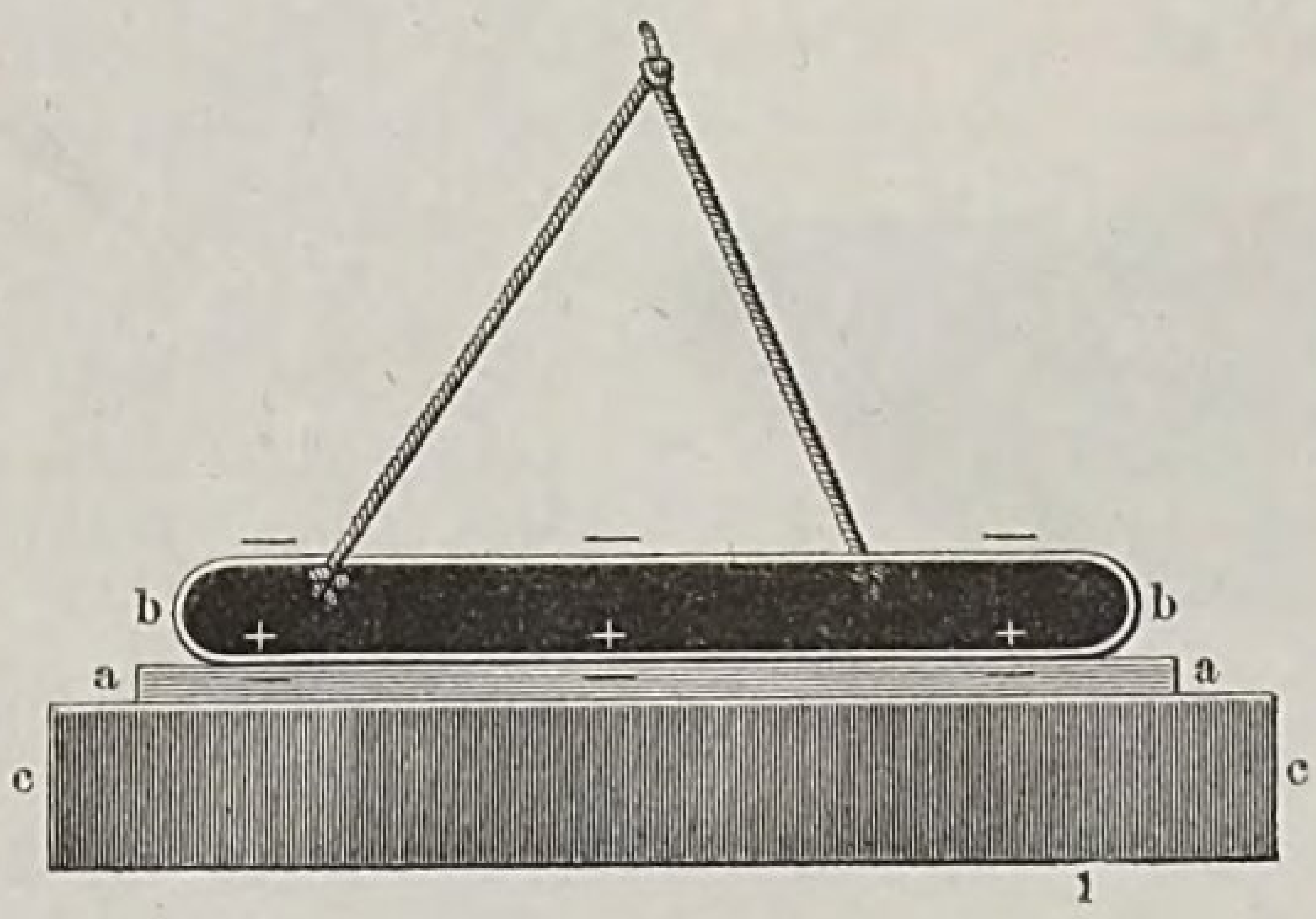
Statt der Harzkuchen hat man auch Platten von Guttapercha für Elektrophore angewandt, dieselben haben sich aber nicht gut bewährt, indem die Guttapercha sehr veränderlich ist und leicht ihre elektrischen Eigenschaften verliert. Dagegen wendet man mit dem besten Erfolge Hartgummi als Elektrophorkuchen an.

Der Deckel des Elektrophors ist in der Regel von Messing oder Zinn und mit einem abgerundeten Rande versehen. Man kann jedoch auch Deckel von Glas, Holz oder Pappe anwenden, die mit Stanniol über-

zogen sind; nur muss dafür gesorgt sein, dass die untere Fläche, welche auf den Harzkuchen zu liegen kommt, wie dieser selbst, möglichst eben ist.

Fig. 91 stellt eine der zweckmässigsten Formen des Elektrophordeckels dar. Er ist aus Zink- oder Messingblech verfertigt, innen hohl und ungefähr 4 bis 5 cm dick. Bei dieser Form des Deckels lassen sich besonders die Schnüre gut anbringen, welche aber natürlich schon eingezogen werden müssen, bevor man die zwei Stücke zusammenlöthet, aus denen der Deckel besteht. In unserer Figur ist auch noch die Vertheilung der Elektricität angedeutet, welche in den Deckel eintritt, wenn man denselben auf die negativ elektrische Harzplatte aufsetzt, ohne ihn ableitend zn berühren.

Fig. 91.



Wir haben oben nur gezeigt, wie es kommt, dass dem Deckel des Elektrophors eine Ladung positiver Elektricität ertheilt werden könne, ohne dass die Rede davon war, welche Rolle die Form oder die untere Metallplatte dabei spielt. Wenn man den Harzkuchen auf eine isolirende Unterlage, etwa auf eine Glastafel, legte, so würde es nicht möglich sein, so starke Ladungen zu erhalten, wie es der Fall ist, wenn der Kuchen eine leitende Unterlage hat. Durch das Schlagen mit dem Pelze kann nämlich nur noch so lange Elektricität entwickelt werden, bis eine gewisse Gränze freier Ladung des Kuchens erreicht ist, über welche Gränze hinaus jede neu entwickelte $-E$ des Kuchens sogleich zu ihrem Gegensatze im Pelz übergehen würde. Wenn aber der Harzkuchen auf einer leitenden Unterlage liegt, so wirkt die $-E$ des Kuchens vertheilend auf dieselbe, die $-E$ der Form wird abgestossen, die $+E$ angezogen. Die $+E$ der Form aber zieht auch die $-E$ des Kuchens an und trägt dazu bei, dieselbe auf dem Kuchen zu binden. Wenn man einen Harzkuchen, der während des Schlagens mit Pelz auf einer leitenden Unterlage gelegen hat, aufhebt, so wird nun auf einmal alle E frei, welche durch den Einfluss der Unterlage auf dem Harze zurückgehalten war; man kann demselben zahlreiche kräftige Funken entziehen, welche während des Aufliegens nicht übersprangen.

Sehr leicht lässt sich dies mit jeder dünnen Elektrophorplatte zeigen. Ist sie auf einer leitenden Unterlage liegend mit Tuch oder einem Felle gepeitscht worden, so kann man keine oder nur schwache Funken aus ihr ziehen, während sie lange Funken sprüht, sobald man sie von der leitenden Unterlage aufhebt.

Die Gesetze des Elektrophors lassen sich mit Hilfe eines dem Elektroskop, Fig. 85, ähnlichen aber weniger empfindlichen Instrumentes nachweisen. Man lege auf die Platte des Elektroskops eine Scheibe von Schellack oder auch eine Platte von Guttapercha, deren Durchmesser noch etwas grösser ist als der Durchmesser der Metallplatte. Wenn, wie es sein muss, die Schellackscheibe ganz unelektrisch ist, so werden natürlich die Pendel nicht divergiren; sobald man aber die obere Harzfläche mit einem Katzenpelze schlägt, so divergiren die Pendel, und zwar mit — *E*, weil durch die — *E* auf der Oberfläche des Schellacks die + *E* des Apparates in der Metallplatte gebunden, — *E* aber abgestossen wird. Sobald man nun die Metallplatte des Elektroskops unten mit dem Finger berührt, wird die abgestossene — *E* abgeleitet, die Pendel fallen zusammen; in der Metallplatte bleibt aber + *E* gebunden, was man daraus erkennt, dass die Pendel mit + *E* divergiren, sobald man die Schellackplatte abhebt, sogleich aber auch wieder zusammenfallen, wenn man sie wieder auflegt.

Die eben beschriebene Anordnung stellt uns einen vollständigen Elektrophor dar, die Schellackscheibe ist der Harzkuchen, die Platte des Elektroskops ist die Form. Bei dieser Anordnung des Versuchs ist es nun, wie wir gesehen haben, leicht, jederzeit den elektrischen Zustand der Form nachzuweisen.

Sobald man auf die obere Fläche der Schellackscheibe eine, durch eine Glasstange isolirte Metallscheibe, welche der Platte des Elektroskops ganz gleich ist und dem Deckel des Elektrophors entspricht, aufsetzt und mit dem Finger berührt, verändern sich die Umstände. In dem Moment, in welchem man aus der oberen Deckplatte die — *E* ableitet, so dass sie nur noch + *E* enthält, wird die — *E* des Harzkuchens durch die + *E* im Deckel vollständig gebunden, sie kann nicht mehr, wie früher, bindend auf die + *E* der unteren Platte wirken, welche ja weiter von der geriebenen Oberfläche entfernt ist. In dem Augenblicke, in welchem man die obere Platte mit dem Finger berührt, werden deshalb die Pendel des Elektroskops divergiren, und zwar mit der + *E*, welche bis dahin in der Platte des Elektroskops gebunden war.

Dies erklärt nun auch eine Erscheinung am Elektrophor, welche bisher noch nicht erwähnt wurde. Wenn man nämlich den Deckel gehörig aufgesetzt hat und gleichzeitig mit einem Finger den Deckel, mit einem anderen die Form berührt, so erhält man einen Schlag oder Stoss, der weit heftiger ist, als wenn man nur den Deckel berührte. Es kommt dies daher, dass die — *E* des Deckels und die frei werdende + *E* der Form zu einander übergehen.

Die Elektrisirmaschine besteht aus einem geriebenen Körper, 39
einem Reibzeuge und einem isolirten Leiter.

Die reibende Fläche ist gewöhnlich ein Stück Leder, welches mit Amalgam überzogen ist.

Der geriebene Körper ist eine Glasscheibe oder ein Glascylinder.

Der isolirte Conductor ist in der Regel durch Hohlkugeln oder hohle Cylinder aus Messingblech gebildet, welche an beiden Seiten kugelförmig abgerundet und von gläsernen, mit Schellackfirniss überzogenen Säulen getragen werden.

Man hat der Elektrisirmaschine mancherlei verschiedene Einrichtungen gegeben.

Fig. 92.

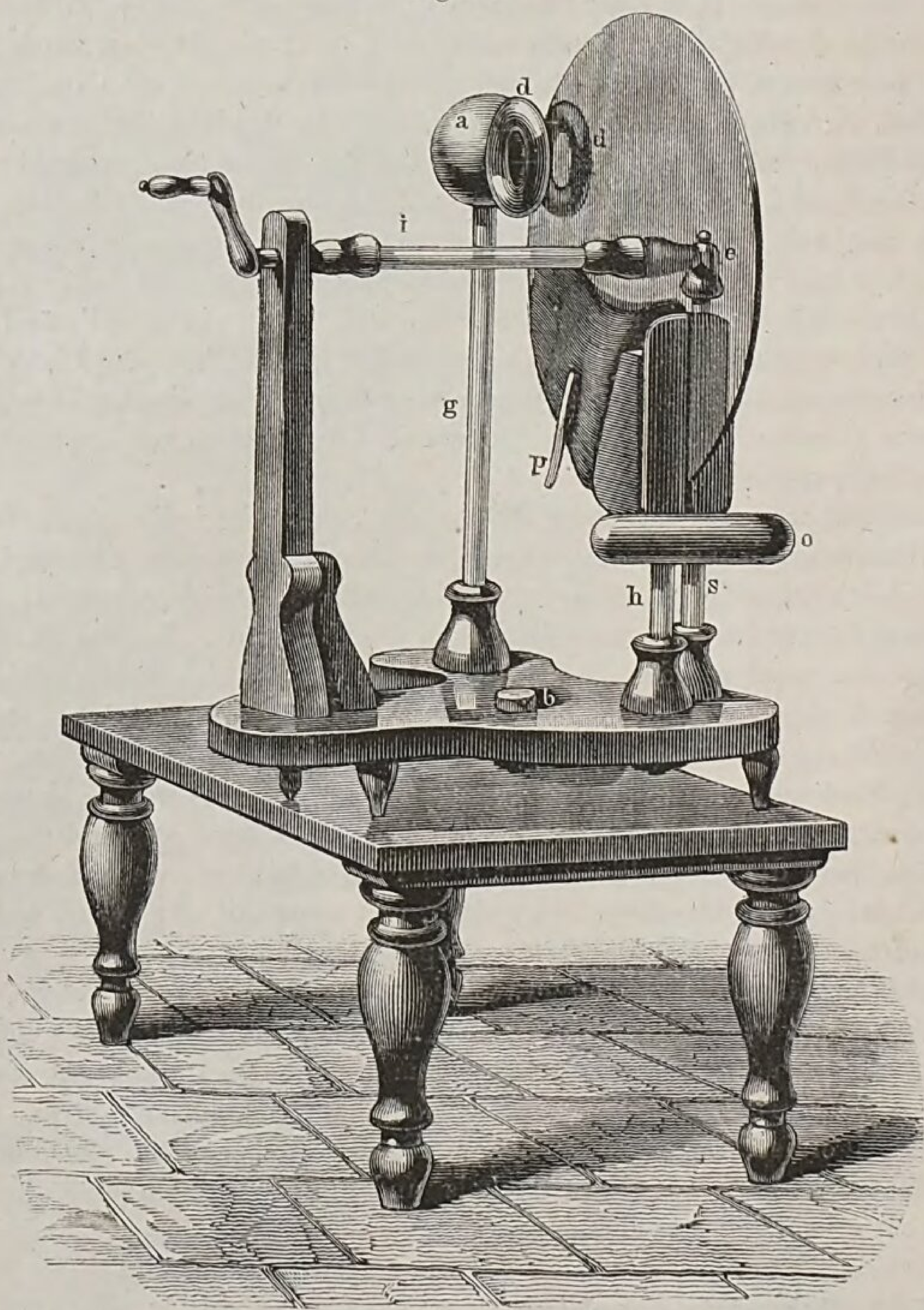


Fig. 92 stellt eine Scheibenmaschine dar, wie sie Winter in Wien construirt, dessen Elektrisirmaschinen, namentlich in Beziehung

auf Funkenlänge, Ausgezeichnetes leisten. Die Umdrehungsaxe *i* der Scheibe ist von Glas; sie wird auf der einen Seite durch den Glasfuss *s*, auf der andern durch eine hölzerne Stütze getragen. Das Reibzeug wird durch die Glassäule *h* getragen.

Das Gestell, welches zur Aufnahme des Reibzeuges dient, ist Fig. 93 für sich allein dargestellt. Auf den Glasfuss *h* ist das gabelförmige Holzstück *n* aufgekittet, in welchem auf jeder Seite eine Vertiefung zur Aufnahme des Reibzeuges eingeschnitten ist. Ein an diesem Holzgestell *n n* angebrachter Streifen von Messingblech führt die negative Elektricität des Reibzeuges zu dem Loch *r*, in welches der kleine Conductor *o*, Fig. 92, eingesteckt wird.

Das Reibzeug selbst ist in Fig. 94 dargestellt, und zwar von der Rückseite; *p* ist ein Schieber von Holz, welcher in dem Reibzeuggestell eingeschoben wird; *q* ist eine Leiste, welche das Durchschlüpfen des Reibzeuges verhindert. Auf der Vorderseite des Brettes *p* ist das mit ihm gleichgestaltete amalgamirte Leder befestigt. An dieses

Fig. 93.

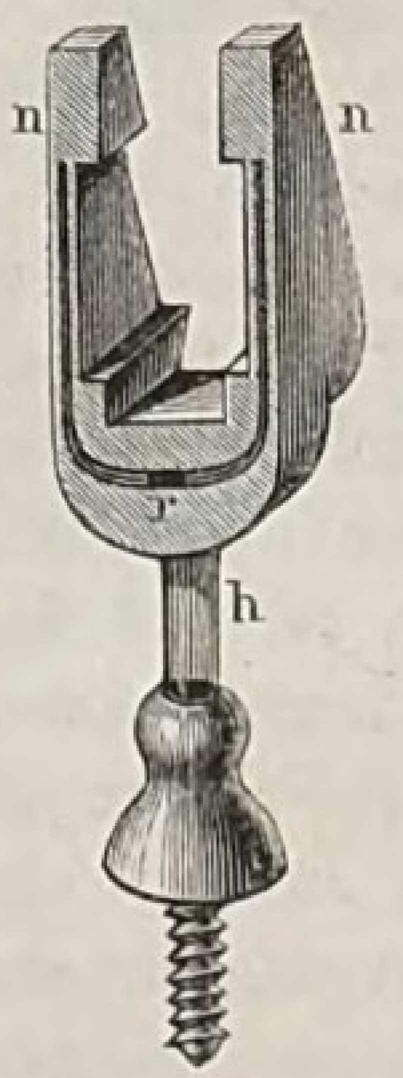
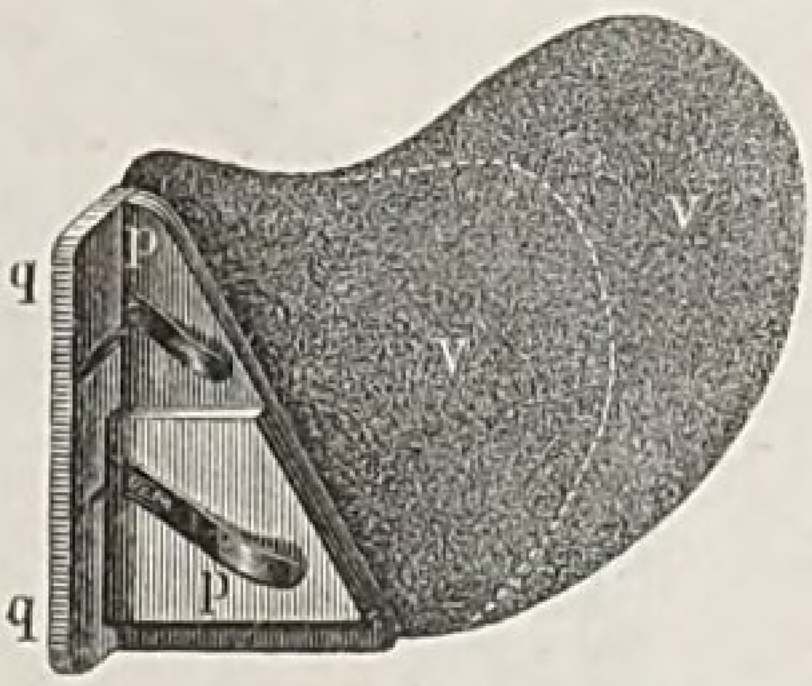


Fig. 94.



Leder setzt sich ein Lappen von Wachstaffet an, welcher nochmals mit Schellack gefirnisst an der Glasscheibe anliegt und das Entweichen der Elektricität auf dem Wege vom Reibzeuge zum Saugapparate *d*, Fig. 92, verhindert. Die auf der Rückseite des Brettes *p* angebrachten Stahlfedern dienen dazu, das Reibzeug gehörig an die Glasscheibe anzudrücken.

Ein solches Reibzeug, wie das in Fig. 94 dargestellte, wird auf jeder Seite der Glasscheibe angebracht, und zwar ist in unserer Figur dasjenige dargestellt, welches auf der rechten Seite des Trägers Fig. 93 eingeschoben wird.

Der Conductor *a*, Fig. 92, ist von Messingblech verfertigt. Bei den neueren Maschinen ist derselbe von polirtem Holze und mit einigen Stanniolstreifen belegt. Damit die auf dem Conductor *a* angehäufte Elektricität möglichst wenig an der Glassäule *g* abströmen könne, hat derselbe eine schon von van Marum bei der grossen Harlemer Maschine

mit Erfolg angewandte Form, die man Fig. 95 deutlicher sieht, welche den Conductor *a* im Durchschnitt sammt einem aufgesteckten Holzring zeigt. Die Kugel *a* ist nämlich unten eingezogen.

In den Conductor *a* sind mehrere Blechhülsen eingelöthet; die obere dient, um den Holzring aufzustecken; von der linken Seite her wird bei grösseren Maschinen ein Stäbchen eingeschoben, welches eine Kugel von 5 bis 8 cm Durchmesser trägt, während bei kleineren Maschinen eine Blechhülse eingesteckt wird, welche, wie Fig. 96 in doppeltem Maass-

Fig. 96.

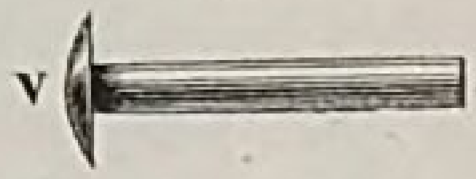
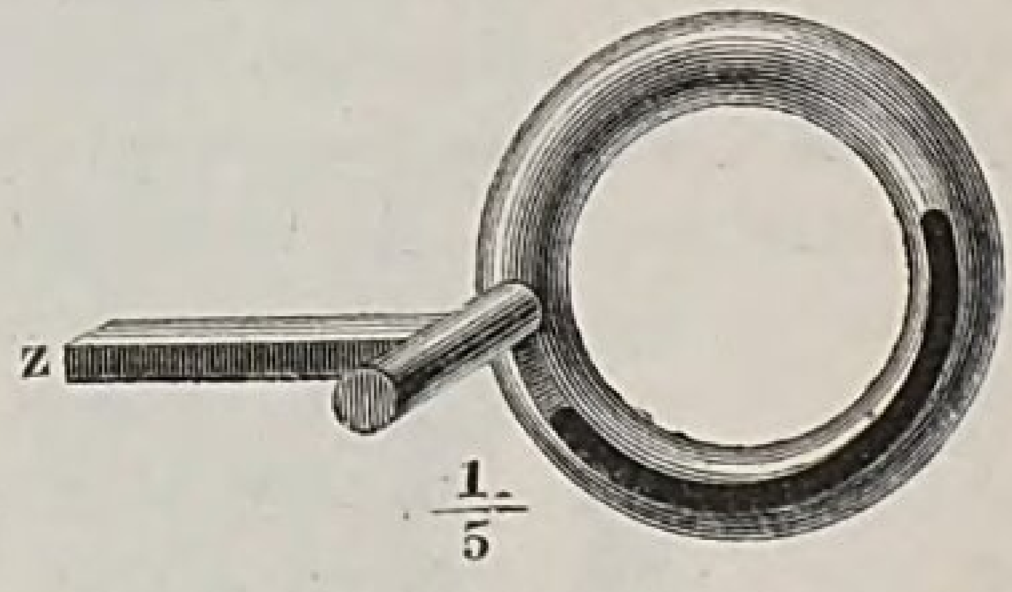


Fig. 97.



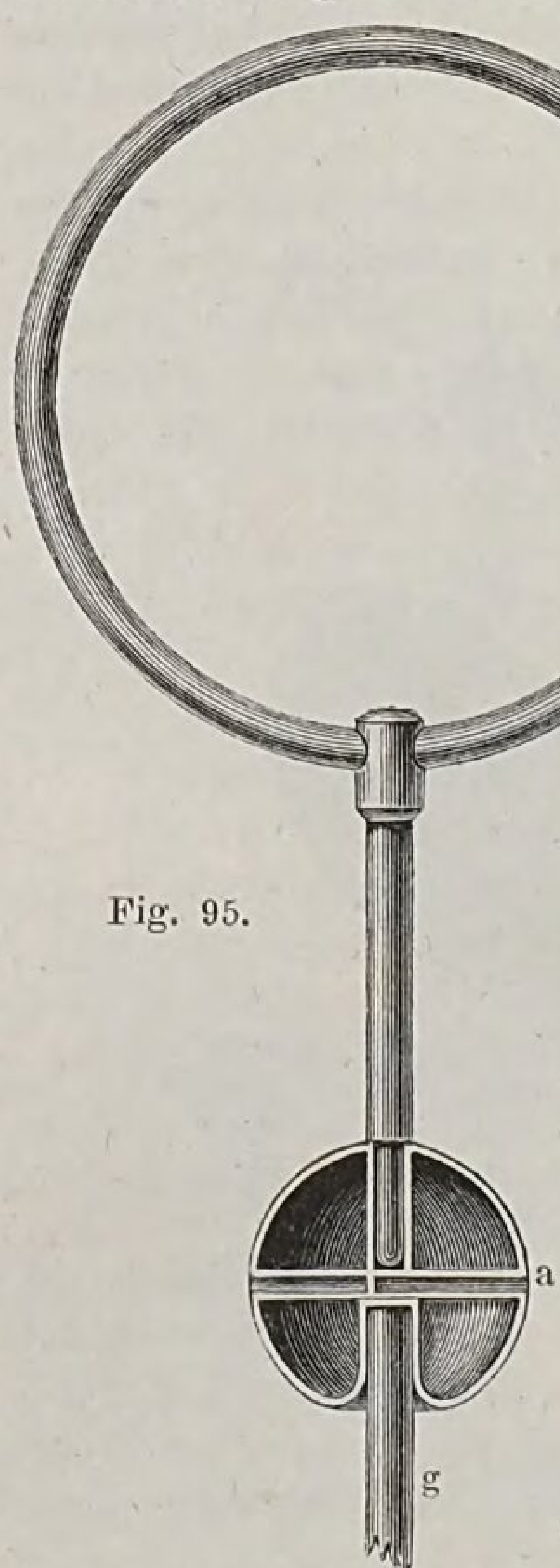


Fig. 95.

stabe zeigt, mit einem schwach gekrümmten runden Stück von Messingblech endigt. Wenn man kräftige Funken aus dem Conductor ziehen will, so wird das Röhrchen, Fig. 96, soweit eingeschoben, dass das Blech *v* dicht an dem Conductor anliegt, und nur eine unbedeutende Hervorragung an demselben bildet; will man aber irgend einen Gegenstand an den Conductor anhängen oder elektrische Büschel aus demselben ziehen, so wird das Röhrchen, Fig. 96, mit dem Blech *v* mehr oder weniger aus dem Conductor hervorgezogen. — Auf der rechten Seite des Conductors, Fig. 95, wird die Saugvorrichtung eingesteckt.

Diese Saugvorrichtung hat bei den Winter'schen Maschinen eine ganz eigenthümliche, sehr zweckmässige Einrichtung; sie besteht nämlich aus zwei Ringen von polirtem Holze, welche an der Innenseite, da wo die Scheibe sich zwischen ihnen durchbewegt, mit einer Rinne versehen sind, wie man dies Fig. 97 sieht, wo der vordere Ring weggelassen ist; damit man die Rinne des hinteren sehen kann.

Der Boden dieser Rinne ist mit Stanniol beklebt, aus welchem eine Reihe feiner Nadelspitzen gegen die Scheibe gerichtet hervorragen. Das

metallische Stäbchen z, Fig. 97, mittelst dessen die Saugvorrichtung an den Conductor angesteckt wird, ist ebenso wie die Hülse, in die es passt, eckig, damit eine Drehung um seine Axe nicht möglich ist. Die Rinne ist durch ein Stanniolstreifchen mit z, also auch mit dem Conductor a metallisch verbunden.

Beim Drehen wird nun die Glasscheibe zwischen dem Reibkissen $+$ elektrisch. Damit sich nun auf dem Wege von dem Reibzeuge zu den Saugern die Elektricität nicht von der Scheibe verliert, sind die bereits erwähnten Lappen von Wachstaffet angebracht, welche, wie wir gesehen haben, am Reibzeuge befestigt sind. So kommen denn die beim Drehen zwischen den Reibkissen $+$ elektrisch gewordenen Stellen der Scheibe zwischen die Holzringe, die $+ E$ der Scheibe wirkt vertheilend auf die Spitzen, die $+ E$ wird abgestossen und auf den Conductor a getrieben, während die $- E$ aus dem Conductor durch die Spitzen auf die Scheibe strömt, um sie wieder in natürlichen Zustand zu versetzen.

So wird denn der Conductor a mit positiver Elektricität geladen.

Damit fortwährend eine starke Elektricitätsentwickelung möglich ist, muss die auf dem Reibzeuge entwickelte $- E$ möglichst vollständig abgeleitet werden, das Reibzeug muss deshalb mit dem Boden oder noch besser mit einer grossen Metallmasse (wo es möglich ist, mit Gasleitungsröhren) in gut leitender Verbindung stehen.

Will man mit $- E$ experimentiren, so wird der Conductor a mit dem Boden leitend verbunden; die negative Elektricität sammelt sich alsdann auf dem Conductor o des Reibzeugs. Dadurch, dass die Ringe d von Holz sind, wird eine bedeutende Anhäufung von positiver Elektricität an dieser Stelle und somit ein Ueberströmen derselben zum Reibzeug möglichst verhindert und eine stärkere Ladung des Conductors a ermöglicht.

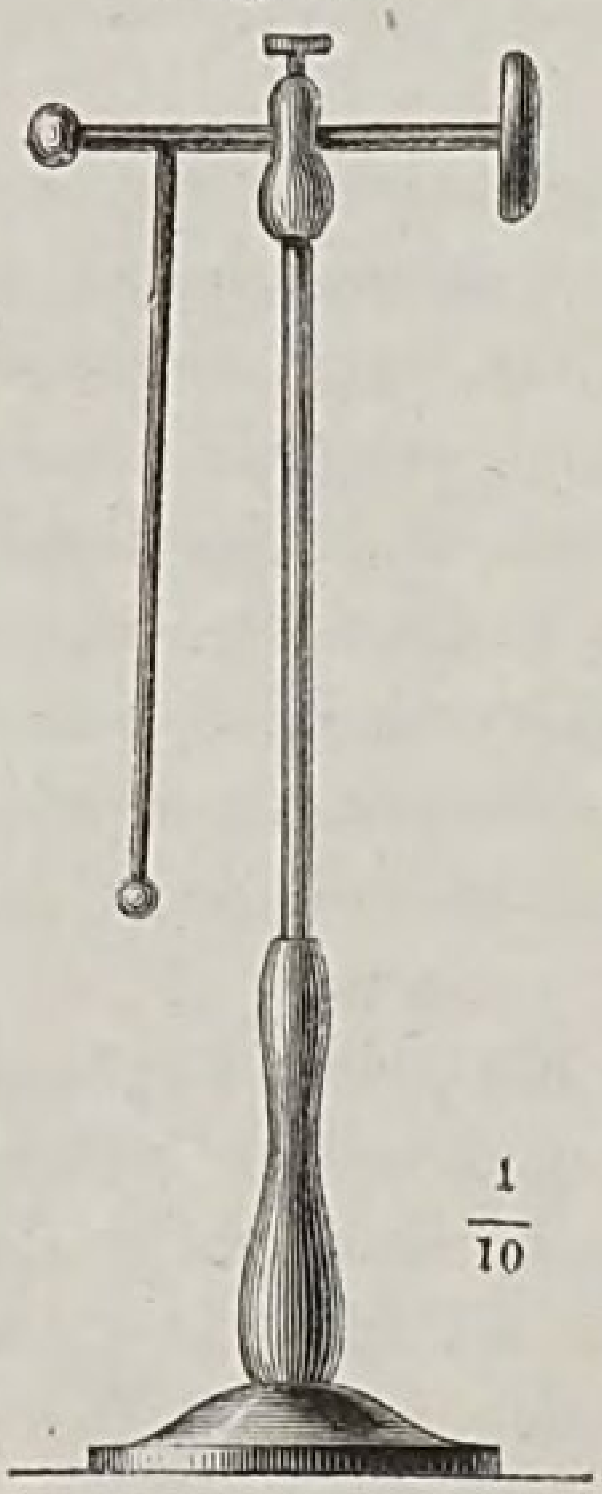
Die Länge der Funken, welche man aus dem Conductor a ziehen kann, wird durch das Aufsetzen des in Fig. 95 dargestellten Holzringes bedeutend vermehrt. Aussen ist er polirt; den Kern des Stabes und des Ringes aber bildet ein Eisendraht. — Eine Winter'sche Maschine, deren Scheibe 1 m Durchmesser hat, giebt 60 cm lange, eine solche von 45 cm Durchmesser giebt in gutem Zustande 30 cm lange Funken. Bei der nach seinem System umgebauten Maschine des Polytechnikums zu Wien hat Winter die Funkenlänge auf 1 m gebracht.

Um grosse Funken aus dem Conductor a zu ziehen, ist der Funkenzieher, Fig. 98 (a. f. S.), bequem, welcher auf einem Glasfusse befestigt ist und mit dem Boden oder noch besser mit dem Reibzeuge in leitende Verbindung gesetzt wird.

Fig. 99 (a. f. S.) stellt eine Cylindermaschine dar, wie sie Grüel in Berlin construirt, dessen Elektrisirmaschinen sich gleichfalls durch kräftige Wirkung auszeichnen. Hier ist der geriebene Körper ein grosser Glascylinder, welcher um eine horizontale Axe drehbar ist und in seiner ganzen Länge durch ein einziges Kissen rr gerieben wird. Dieses

Kissen kann mit den kleinen durch Glasfüsse getragenen Conductoren *n* in leitende Verbindung gesetzt werden. Der Conductor besteht aus dem mit Saugspitzen besetzten Messingcylinder *vv*, welcher dem Reibzeuge diametral gegenübersteht, und der Hohlkugel *k*, welche mit *v v* leitend verbunden ist und an einem etwas gebogenen Messingrohre noch eine kleinere Kugel trägt.

Fig. 98.

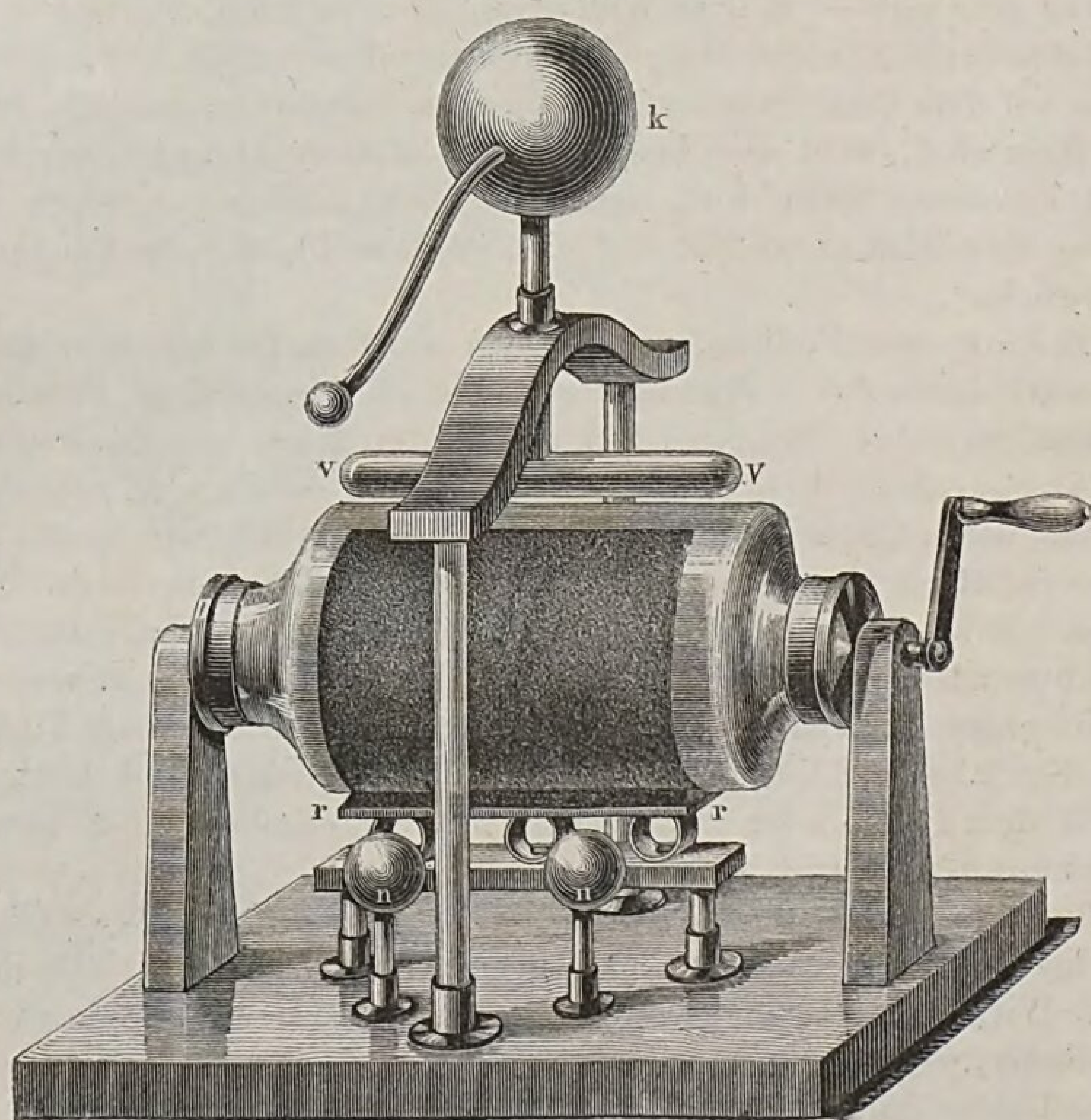


$\frac{1}{10}$

Damit das am Reibzeuge geriebene Glas auf dem Wege bis zum Conductor *v* seine Elektricität nicht verliert, ist die eine Hälfte des Cylinders mit einem Stück Wachstaffet bedeckt, welches am Reibzeuge *r* befestigt ist.

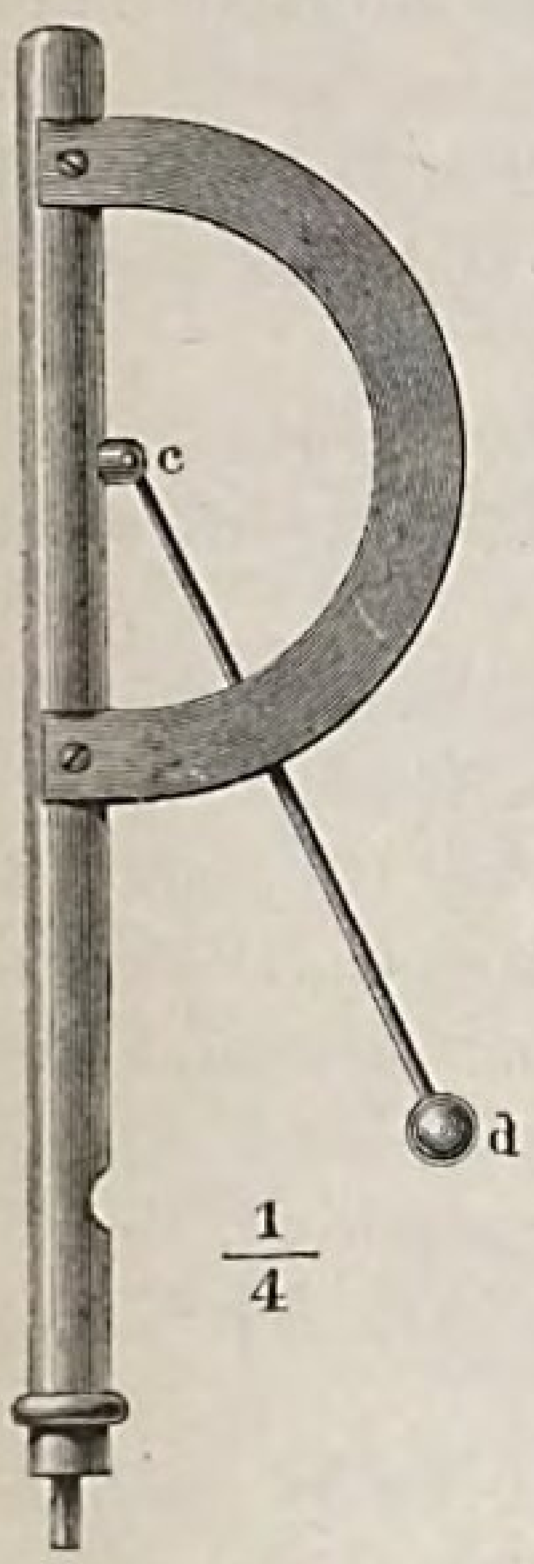
Um über den Grad der Ladung des Conductors einigermaassen ein Urtheil zu haben, setzt man auf denselben das Henley'sche Quadrantenelektrometer, Fig. 100 (nicht zu verwechseln mit dem später zu beschreibenden Thomson'schen Quadrantenelektrometer), dessen Einrichtung schon aus der Figur klar wird. Je stärker die Ladung wird, desto mehr wird das an einem

Fig. 99.



Strohhalm steckende Korkkügelchen *d* abgestossen, desto mehr steigt es. An einem getheilten Halbkreise, den unsere Figur von der Rückseite zeigt, kann man sehen, um wie viel Grade sich der Strohhalm, welcher die kleine Kugel trägt, von seiner Gleichgewichtslage entfernt hat. Diese Gradzahl ist jedoch nicht der elektrischen Spannung auf dem Conductor proportional. Wenn man die Maschine zu drehen anfängt, steigt das Kügelchen rasch, bald aber erreicht es eine Stellung, welche es fast ganz unverändert beibehält, so lange man dreht. Es zeigt dies, dass ungeachtet der fortwährenden Elektricitätsentwickelung die Spannung auf dem Conductor nicht mehr zunimmt. Der Grund davon liegt darin, dass, so gut man den Conductor auch isoliren mag, er doch fortwährend Elektricität verliert. Dieser Verlust ist nun um so grösser, je grösser die Spannung der Elektricität ist; begreiflicher Weise wird bei fortgesetztem Drehen bald ein Zeitpunkt eintreten, wo die Spannung auf dem Conductor so gross ist, dass der elektrische Verlust in jedem Zeittheilchen gleich ist der Elektricitätsmenge, welche in derselben Zeit dem Conductor zugeführt wird.

Fig. 100.



Die Grösse der möglichen Ladung eines Conductors hängt namentlich auch von der Witterung ab. Bei feuchter Witterung, wo der elektrische Verlust sehr bedeutend ist, kann man dem Conductor keine so starke Ladung ertheilen, wie bei trockenem Wetter, wie man dies namentlich sehr deutlich mit dem Quadrantenelektrometer zeigen kann.

Winter ist auf die Idee gekommen, die Wirkung der Elektrisirmaschine direct mit dem Stande eines Darmsaitenhygrometers zu vergleichen, und hat gefunden, dass die Funkenlänge nahezu in demselben Verhältniss abnimmt, in welchem sich der Zeiger des Hygrometers dem Punkte der grössten Feuchtigkeit nähert. Er hat sich zur Vergleichung mit den Wirkungen der Elektrisirmaschine ein besonderes Hygrometer construirt, welches er Hygroelektrometer nennt. Der Punkt der grössten Feuchtigkeit ist mit 0, der der grössten Trockenheit ist mit 16 bezeichnet und der Zwischenraum des Gradbogens in 16 gleiche Theile getheilt. Steht der Hygrometerzeiger auf 16, so hat man die grösste Funkenlänge zu erwarten, welche die Maschine geben kann; steht aber der Zeiger auf 8, auf 4, so werden die Funken ungefähr nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ so lang sein, als sie die Maschine unter den günstigsten Umständen zu geben im Stande ist.

Versuche mit der Elektrisirmaschine. Mit der Elektrisir- 40
maschine lassen sich zahlreiche Versuche anstellen, welche dazu dienen,

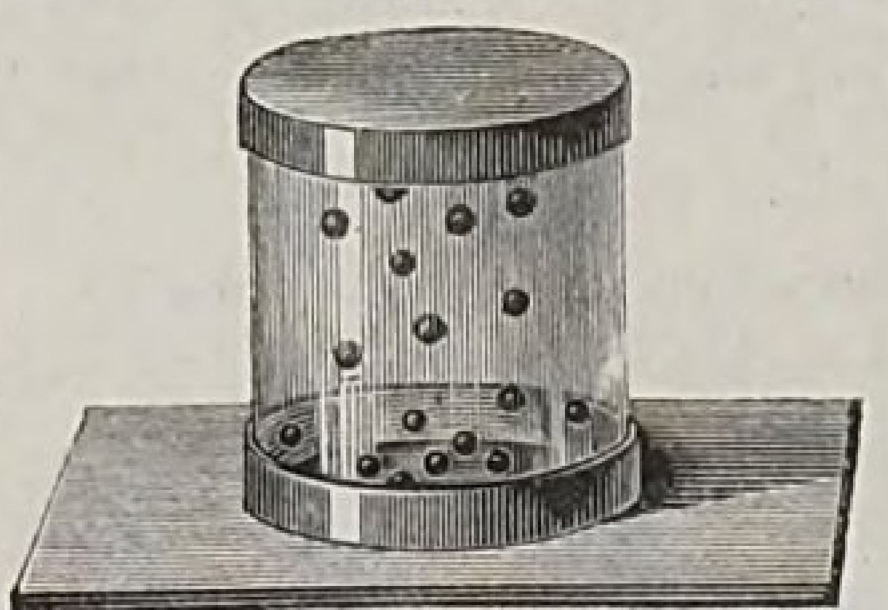
die bisher besprochenen Gesetze der Elektricität zu erläutern. Wir wollen einige derselben näher betrachten.

Der Korkkugeltanz, welcher eigentlich nur eine bessere Form des Fig. 76 Seite 84 dargestellten Versuches ist, lässt sich am einfachsten dadurch hervorbringen, dass man den Deckel des Elektrophors, Fig. 90 Seite 99, an seinen Schnüren so aufhängt, dass seine untere Fläche 5 bis 8 cm hoch über dem mit Stanniol beklebten Brette *cc* schwebt. Werden nun an die Stelle des entfernten Harzkuchens Hollundermarkkügelchen gelegt, so tanzen diese zwischen den beiden metallischen Platten hin und her, sobald man die obere Platte in leitende Verbindung mit dem Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine bringt.

Man hat die leichten Kügelchen durch gemalte und ausgeschnittene Papierfigürchen oder durch leichte Püppchen von Hollundermark ersetzt und erhielt so den elektrischen Puppentanz.

Bei dem eben beschriebenen Versuche fahren die Kügelchen leicht nach den Seiten aus einander; um dies zu verhindern, schliesst man sie in einen Glascylinder, Fig. 101, ein, den man oben und unten mit einem Deckel von Pappe versieht, welcher mit Stanniol überzogen ist. Der obere Deckel wird mit dem Conductor der Elektrisirmaschine, der untere mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht.

Fig. 101.



Die elektrischen Anziehungs- und Abstossungserscheinungen hat man zu zahllosen Spielereien benutzt, wie das elektrische Glockenspiel, die elektrische Spinne etc., die sich namentlich in älteren Cabinetten finden und deren Beschreibung hier überflüssig ist.

Die gegenseitige Abstossung von Körpern, welche mit gleicher Elektricität geladen sind, kann man sehr schön mit Hilfe des Papierbüschels, Fig. 102, zeigen, den man mittelst des Korkes *k* auf den Conductor der Maschine aufsteckt. Auf einem leitenden Stäbchen ist oben ein leitendes Scheibchen befestigt, von dessen Rand eine Reihe 4 bis 6 mm breiter, 30 bis 40 cm langer Streifchen von dünnem Papier herabhängen. Sobald die Maschine gedreht wird, gehen die Streifchen wie ein Schirm aus einander.

Die Haare auf dem Kopfe zeigen eine ähnliche Erscheinung, wenn man sich auf den Isolirschemel, d. h. auf ein durch Glasfüsse getragenes Brett, Fig. 103, stellt und den Conductor der Maschine mit der Hand berührt. Sobald die Maschine gedreht wird, sträuben sich die Haare, sie fallen zusammen, so oft man aus dem Conductor oder dem menschlichen Körper selbst einen Funken zieht.

Wenn man Gummiüberschuhe an hat, ist man ebenso vollständig isolirt, als ob man auf dem Isolirschemel stände.

Der elektrische Funke kann leicht brennbare Körper, z. B. eine eben ausgelöschte Kerze, entzünden. Der schwächste Funken schon, welcher durch Knallgas schlägt, reicht hin, eine Explosion zu bewirken. Um die Entzündung des Knallgases zu zeigen, wendet man die sogenannte *elektrische Pistole* an, welche Fig. 104 in möglichst einfacher Form dargestellt ist. Ein kleines Gefäss von Blech hat ausser der oberen grösseren Oeffnung noch eine zweite, in welche das Glasröhrchen *tt* eingekittet ist; in dieses Glasröhrchen ist ferner ein Messingdraht eingekittet, welcher einerseits mit der Kugel *b*, andererseits mit der kleinen Kugel *a* endet. Letztere Kugel steht 1 bis 2 mm weit von der Blechwand des Gefässes ab.

Lässt man nun, während das Gefäss ableitend berührt ist, einen elektrischen Funken auf die Kugel *b* schlagen, so springt ein solcher auch zwischen der Kugel *a* und der Gefässwand über, wodurch das Knallgas, mit welchem man vorher das Gefäss gefüllt hatte, entzündet, und der die grössere Oeffnung des Gefässes verschliessende Kork mit lautem Knalle fortgeschleudert wird.

Die Füllung mit Knallgas geschieht einfach dadurch, dass man einige Zeit Wasserstoffgas oder Leuchtgas durch die grosse Oeffnung in das Gefäss einströmen lässt. Es mischt sich dieses dann mit dem Sauerstoff der schon im Apparate enthaltenen atmosphärischen Luft zu Knallgas.

Um *Aether* zu entzünden, sind schon kräftigere Funken nöthig. Man kann diesen Versuch etwa in folgender Weise anstellen: Unter die Kugel *l*, Fig. 105, welche auf irgend eine Weise in leitender Verbindung

Fig. 102.



Fig. 103.

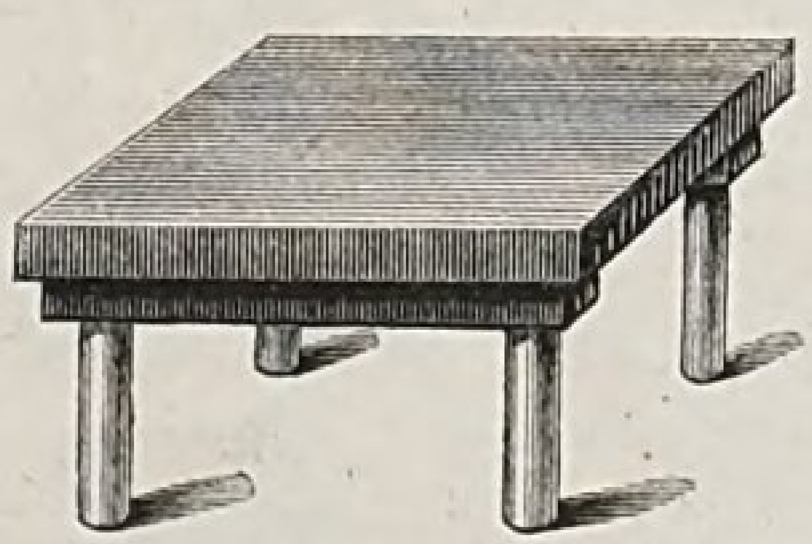


Fig. 105.

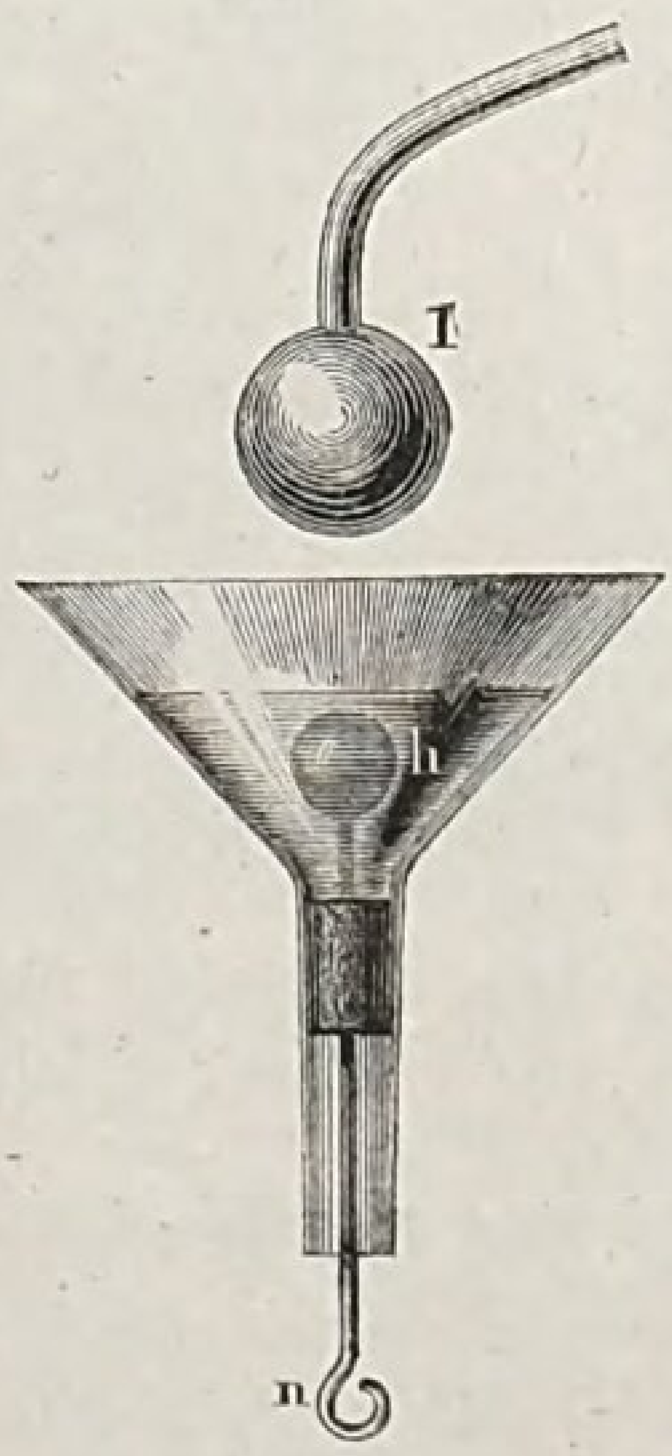
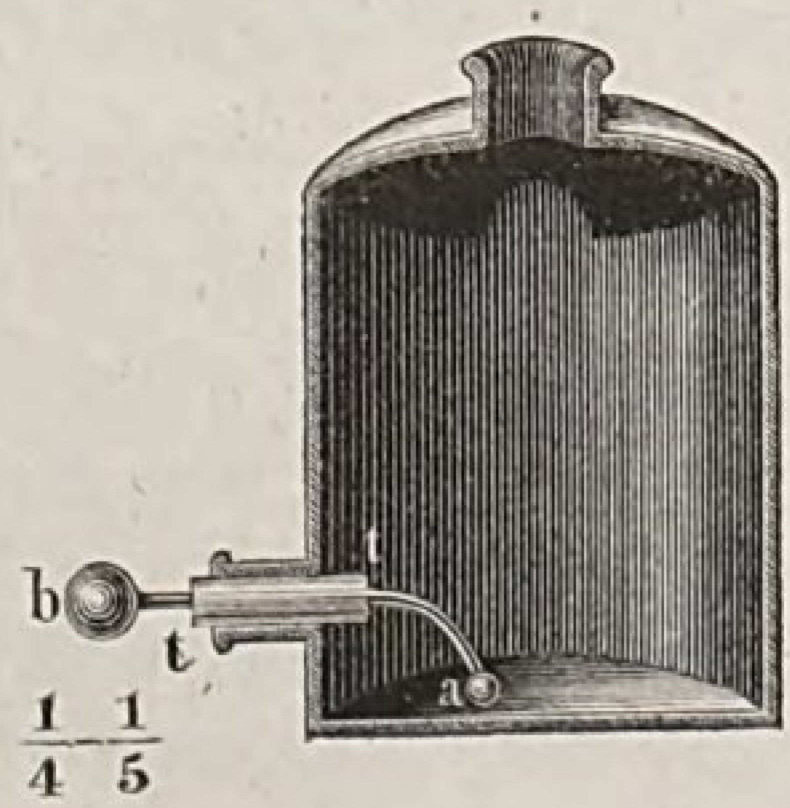


Fig. 104.



mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine steht (man kann dazu ohne Weiteres die kleine Kugel verwenden, welche mit dem Conductor *k* der Grüel'schen Maschine, Fig. 99, in Verbindung steht, oder man kann bei der Winter'schen das Röhrchen, Fig. 96, aus dem Conductor ausziehen, und statt dessen ein ungefähr 10 cm langes Messingstäbchen einstecken, welches mit einer Kugel endigt), wird ein Glastrichter in passendem Stativ aufgestellt, dessen Rohr mittelst eines Korkes verschlossen ist. Durch diesen Kork geht ein Messingdraht hindurch, welcher oben die kleinere Messingkugel *h* trägt, unten aber mit einem Haken endigt. In den Trichter wird zunächst Wasser und darauf so viel Aether gegossen, dass die Kugel *h* eben damit bedeckt ist. Wird nun in den Haken *n* eine ableitende Metallkette eingehängt, so schlagen zwischen *l* und *h* sogleich Funken über, sobald man die Maschine dreht, und diese entzünden dann den Aetherdampf. Leichter gelingt die Entzündung eines mit Aether befeuchteten Baumwollebausches.

Will man diesen Versuch mit Weingeist anstellen, so muss man denselben zuvor erwärmen.

Wir haben gesehen, dass ein in der Nähe des Conductors der Elektrisirmaschine aufgestellter, mit dem Boden in Verbindung stehender Leiter durch Vertheilung elektrisch und mit gebundener Elektricität geladen wird. Sobald nun der Conductor der Maschine durch Ausziehen eines Funkens entladen wird, muss auch eine plötzliche Entladung des vertheilten Leiters erfolgen, welche man mit dem Namen des elektrischen Rückschlags bezeichnet und welche daher rührt, dass die bis dahin gebunden gewesene Elektricität nun rasch in den Boden zurückströmt.

Dieser Rückschlag lässt sich dem Auge mit Hilfe der in Fig. 82 Seite 92 dargestellten Vorrichtung sichtbar machen. Die Pendel bei *b* nämlich, welche stark divergiren, wenn *ab* zum Boden abgeleitet ist und der Conductor der gedrehten Maschine in der Nähe steht, werden jedesmal rasch zusammenfallen, so oft man einen Funken aus dem Conductor zieht. Ein ähnliches Zusammenzucken beobachtet man auch an den Papierstreifen des Apparates Fig. 102, welche in der Nähe des geladenen Conductors stark aus einander gehen.

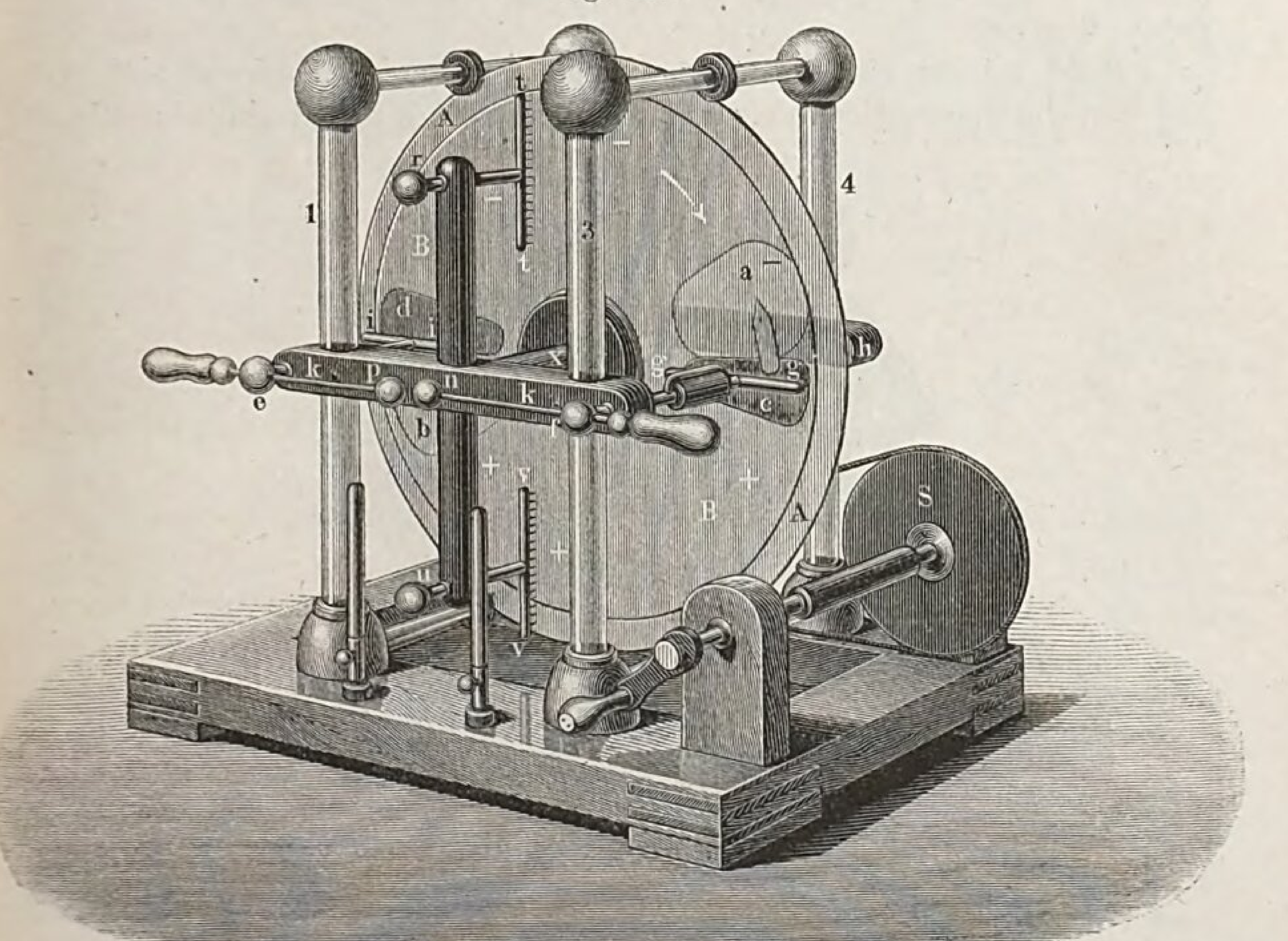
Galvani beobachtete ähnliche Zuckungen durch den elektrischen Rückschlag an Froschschenkeln, welche in der Nähe des Conductors der Elektrisirmaschine aufgehängt waren, und diese Beobachtung bildet den Ausgangspunkt für einen neuen Zweig der Elektricitätslehre, den Galvanismus, welcher den Gegenstand des folgenden Capitels bildet.

41 **Die Influenzelektrisirmaschine.** Während bei der gewöhnlichen Elektrisirmaschine fortwährend durch Reibung neue Elektricität entwickelt wird, suchten Töpler in Riga und Holtz in Berlin Apparate zu construiren (Pogg. Ann. CXXV, CXXVI und CXXVII), welche eine continuirliche Elektricitätsentwickelung durch die vertheilende Wirkung

eines einmal elektrisirten Körpers liefern, bei welchen also gleichsam der in getrennten Acten stattfindende Vorgang des Elektrophors in einen continuirlichen verwandelt wird, wobei aber ausserdem noch der Unterschied stattfindet, dass bei den neuen Apparaten, welche am zweckmässigsten als Influenzelektrisirmaschinen bezeichnet werden, gerade die vom vertheilenden Körper abgestossene Elektricität zur Wirkung kommt, während beim Elektrophor bekanntlich das Umgekehrte stattfindet.

Obgleich die Apparate von Töpler und Holtz auf dieselben Principien gegründet sind, so ist in ihnen dasselbe doch in verschiedenen Formen zur Anwendung gebracht worden, wie sich kaum anders erwarten lässt, da beide ganz unabhängig von einander arbeiteten. Wir beschränken uns hier mit der Besprechung der Holtz'schen Maschine, Fig. 106, wie dieselbe von Borchardt in Hannover construirt wird.

Fig. 106.



Auf dem hölzernen Fussgestell erheben sich vier Glassäulen 1, 2, 3 und 4 (die Glassäule 2 ist in unserer Figur verdeckt), von denen einerseits 1 und 2, andererseits 3 und 4 oben und unten durch horizontale Glasstäbe verbunden sind, die in den oberen und unteren Holzfassungen der verticalen Glassäulen stecken. Jeder dieser horizontalen Glasstäbe trägt ungefähr in seiner Mitte einen Ring von Kamm-Masse, welcher mittelst eines Schraubengewindes etwas verstellbar ist. Durch diese vier

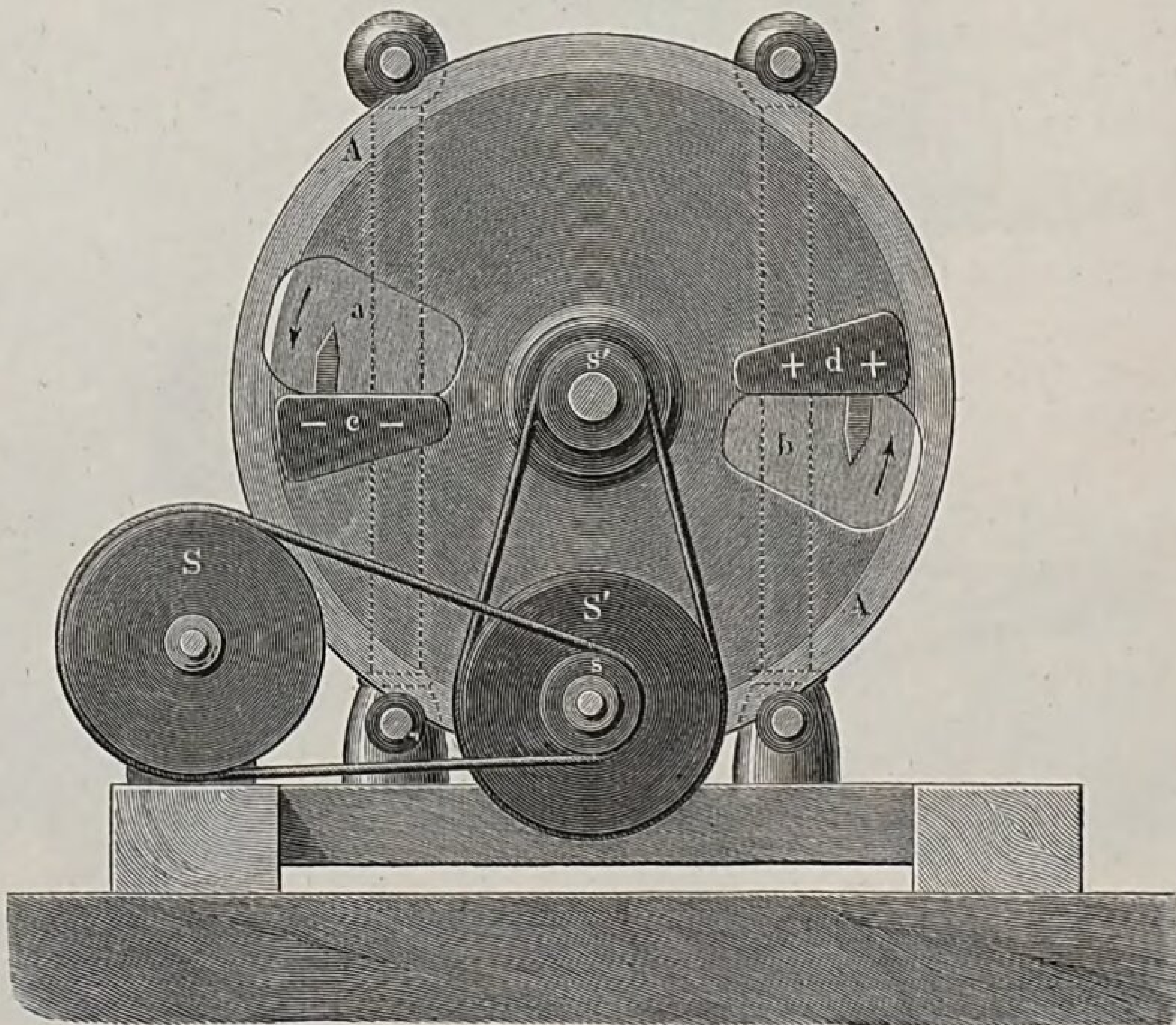
kleinen Ringe, von denen in unserer Figur nur die beiden oberen deutlich zu sehen sind, wird eine dünne Glasscheibe *A* in verticaler Stellung festgehalten.

In der Scheibe *A*, welche in Fig. 107 von der hinteren Seite dargestellt ist, sind diametral gegenüberstehend zwei Ausschnitte *a* und *b* angebracht; ausserdem aber ist aus der Mitte der Scheibe *A* ein kreisförmiges Stück ausgeschnitten, dessen Durchmesser etwas grösser ist als der Durchmesser der Fassung der sogleich näher zu besprechenden Scheibe *B*.

Neben jeder der beiden Oeffnungen *a* und *b* (und zwar auf der für Fig. 106 hinteren Seite der Scheibe *A*) ist eine Belegung von Papier aufgeklebt, und zwar die Belegung *c* neben der Oeffnung *a* und *d* neben *b*. Von jeder dieser Papierbelegungen aus ragt ein zugespitzter Streifen von Kartenpapier in den benachbarten Ausschnitt hinein. Die Scheibe *A* sammt den Belegungen und Kartenspitzen sind mit Schellackfirniss überzogen.

Dicht vor der feststehenden Scheibe *A*, Fig. 107, befindet sich die aus dünnem Spiegelglas verfertigte, gleichfalls mit Schellackfirniss über-

Fig. 107.



zogene Scheibe *B*, deren Durchmesser etwas kleiner ist als der von *A* und welche in ihrer Ebene in rasche Rotation versetzt werden kann. Die Rotationsaxe *x* ist aus Kamm-Masse verfertigt und an jedem Ende mit einem stählernen Zapfen versehen, von denen der vordere in einem

Lager läuft, welches an dem aus Kamm-Masse gebildeten, zwischen den Glassäulen 1 und 3 befestigten Querbalken k angebracht ist, während sich das Lager für den hinteren Zapfen in gleicher Weise an einem von den Glassäulen 2 und 4 getragenen Querbalken h befindet.

Die Scheibe B wird zwischen zwei dicken Platten von Kamm-Masse gehalten, von denen die eine mit der Axe x fest zusammenhängt, während die andere abgeschraubt werden kann.

Die Rotation der Scheibe B wird durch eine Kurbel bewerkstelligt, welche an der Umdrehungsaxe der Scheibe S angebracht ist. Die Rotation der Scheibe S wird durch eine Schnur auf die kleinere Scheibe s übertragen, wie man aus Fig. 107 sieht. Auf der Axe von s sitzt die grössere Scheibe S', deren Bewegung wiederum durch eine Schnur auf die kleinere auf der Axe x sitzende Scheibe s' übertragen wird. Die Scheiben S, s, S' und s' sind aus Kamm-Masse verfertigt; ihre Durchmesser stehen in solchem Verhältnisse zu einander, dass die Scheibe B fünf Umdrehungen macht, während die Kurbel einmal umgedreht wird.

Auf der Vorderseite der rotirenden Scheibe B steht der Belegung c ein messingener Conductor gegenüber, welcher, in dem Querbalken k steckend, einerseits mit der Messingkugel f, andererseits mit dem in dreifacher Richtung verstellbaren Messingarme $g\,g$ endigt, welcher gegen die Scheibe B hin mit Saugspitzen besetzt ist. Ein eben solcher Conductor $i\,i$ steht der Belegung d in gleicher Weise gegenüber. Durch die Kugel f geht ein Messingstab, welcher einerseits mit einem isolirenden Handgriff, andererseits mit der Messingkugel n endigt. Ein gleicher mit der Messingkugel p endigender Messingstab steckt in der Kugel e. Die beiden Kugeln p und n, welche als Elektroden fungiren, können nach Belieben mehr von einander entfernt oder genähert werden.

Während e und $i\,i$ in unmittelbarer metallischer Verbindung stehen, ist zwischen f und $g\,g$ ein isolirendes Stück eingesetzt, und für gewöhnlich die metallische Verbindung zwischen f und g durch einen aufgesetzten Metallbogen vermittelt, welcher in später zu besprechenden Fällen weggenommen wird.

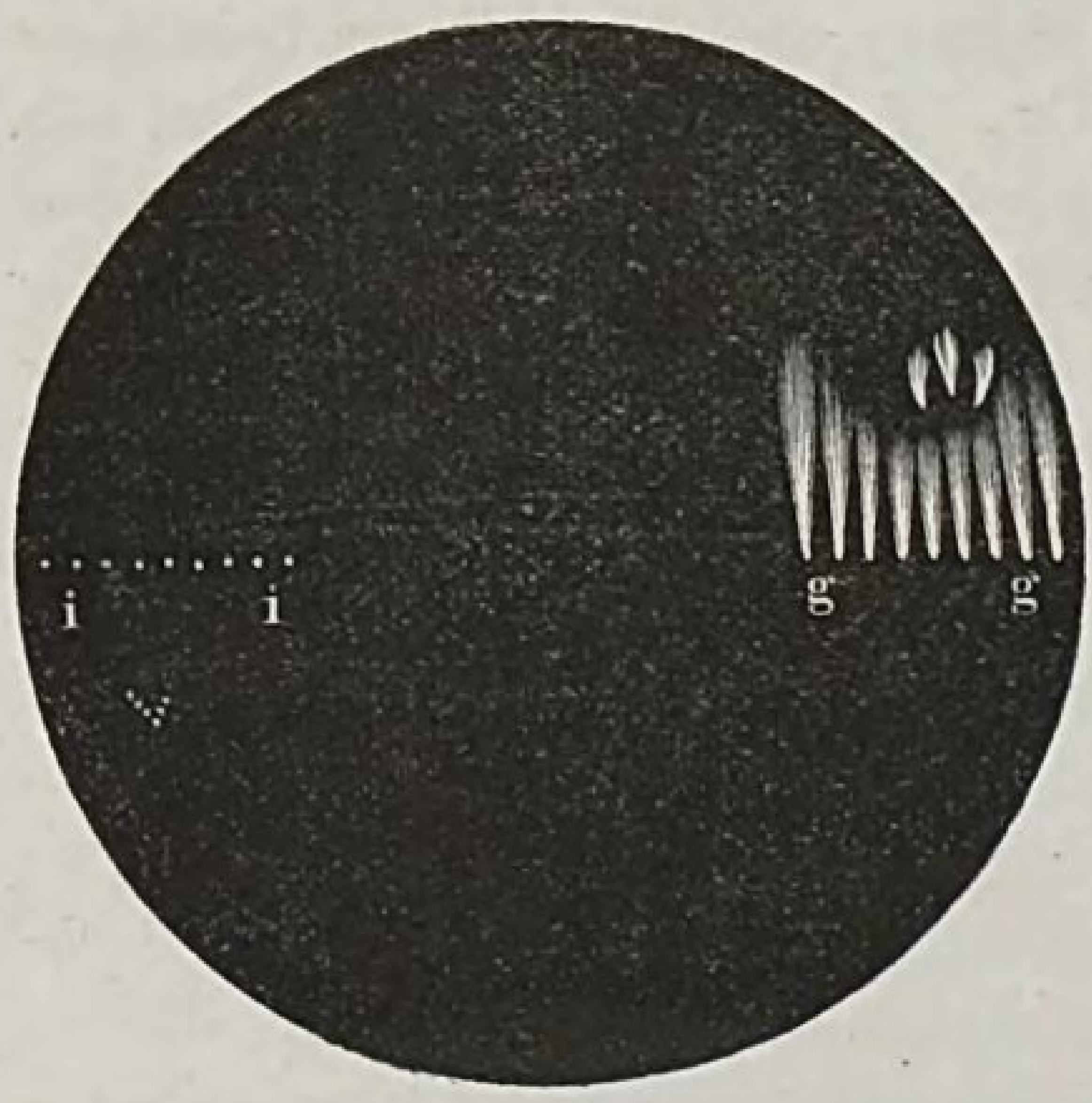
In der Mitte von k ist ein verticaler Stab von Kamm-Masse befestigt, welcher oben den Conductor $t\,t$, unten den Conductor $v\,v$ trägt. Die Saugarme dieser beiden Conductoren seien nun zunächst von der rotirenden Scheibe B zurückgezogen, wie dies auch in unserer Figur dargestellt ist.

Nach dieser Beschreibung des Apparates können wir nun zur Besprechung seiner Wirkungen übergehen. Um die Maschine in Thätigkeit zu setzen, wird eine mit Katzenfell geriebene dünne Platte von Kamm-Masse von der Rückseite der Fig. 106 an die Belegung c gehalten und diese dadurch mit negativer Elektricität geladen, während die Scheibe B (von vorn gesehen) rotirt wie der Zeiger einer Uhr.

Die negative Elektricität der Belegung c wirkt vertheilend auf den Conductor $f\,g$, die angezogene $+ E$ strömt also durch die Saugspitzen

von $g\,g$ auf die Platte B über, welche dadurch an dieser Stelle mit positiver Elektricität geladen wird. Diese Vertheilung würde aber bald ihr Ende erreicht haben, wenn die Glasscheibe B ruhig bliebe; da sie aber rotirt, so kommen stets neue Partien den Saugspitzen von $g\,g$ gegenüber zu stehen, es kann also fortwährend positive Elektricität aus den fraglichen Spitzen auf die rotirende Scheibe übergehen, wie man im Dunkeln sehr schön sehen kann und wie es in Fig. 108 dargestellt ist, indem von den Spitzen aus Büschel positiver Elektricität an der rotirenden Scheibe hinaufströmen. In dem Maasse aber, in welchem die positive Elektricität von $g\,g$ auf die Scheibe B überströmt, wird die abgestossene negative Elektricität von $g\,g$ über f, n, p und e nach $i\,i$ strömen, wobei zu bemerken ist, dass im Anfang die beiden Elektroden n und p in Berührung sein müssen. Von dem Conductor $i\,i$ aber strömt die negative Elektricität auf die rotirende Scheibe über, wie man an den leuchtenden Pünktchen erkennt, welche an den Spitzen des Conductors $i\,i$ auftreten.

Fig. 108.



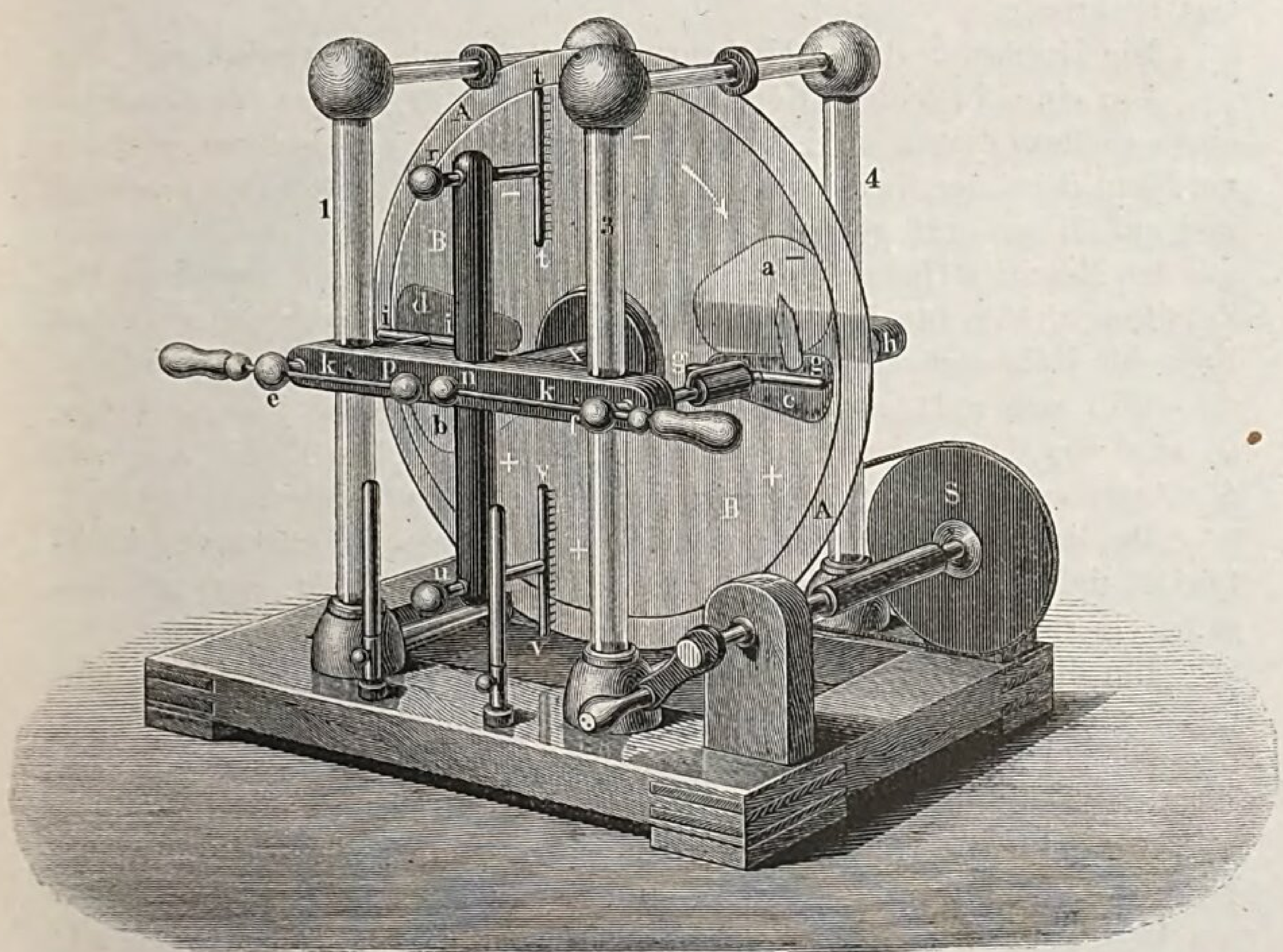
Verfolgen wir nun den elektrischen Zustand der rotirenden Scheibe. Bei $g\,g$ mit $+ E$ geladen behält sie diese Ladung, welche theilweise durch die Nähe der festen Scheibe gebunden bleibt, auf der unteren Hälfte ihrer Bahn. Dem Ausschnitte b gegenüber wird die bis dahin auf B theilweise gebunden gewesene $+ E$ vollständig frei und kann vertheilend auf die Belegung d und die mit ihr verbundene Spitze von Kartenpapier einwirken. Negative Elektricität strömt von dieser Spitze auf die Scheibe B über und die Belegung d ladet sich in Folge dessen mit $+ E$, welche das Ausströmen negativer Elektricität von $i\,i$ auf die rotirende Scheibe noch mehr begünstigt. — Bei $i\,i$ ladet sich also die rotirende Scheibe mit $- E$, welche sie auf der oberen Hälfte ihrer Bahn behält und welche dem Ausschnitte a gegenüber vollkommen frei werdend auf die Belegung c vertheilend wirken kann, wodurch dann die negative Ladung von c noch verstärkt wird. Die Wirkung der rotirenden Scheibe auf die Belegung c wird durch die Büschel positiver Elektricität sichtbar, welche von der mit c verbundenen Spitze von Kartenpapier auf dieselbe übergehen (siehe Fig. 108).

So wird denn die elektrische Ladung der Belegungen c und d durch die Rotationen der Scheibe B allmälig bis zu einer von den Isolationsverhältnissen abhängigen Gränze verstärkt, während in den Conductoren die positive Elektricität von $i\,i$ über e, p, n und f nach $g\,g$ strömt.

Werden nun die Kugeln p und n von einander entfernt, so geht ein continuirlicher Funkenstrom zwischen denselben über, bis ihr Abstand eine gewisse Gränze, die Schlagweite, erreicht hat, die bei den Maschinen mit 12zölliger rotirender Scheibe bis gegen 8 cm steigen kann. Werden die Kugeln p und n über die Schlagweite hinaus von einander entfernt, so kann die Elektricität nicht mehr in dem Systeme der Conductoren circuliren, die positive Elektricität kann bei $g\,g$, die negative bei $i\,i$ nicht mehr in genügender Menge auf die rotirende Scheibe B überströmen, deren Ladung dann bald so weit abnimmt, dass die $-E$ von der Belegung c und die $+E$ von der Belegung d auf die Scheibe zurückströmt, was dann alsbald ein vollständiges Verschwinden der elektrischen Ladung des ganzen Apparates zur Folge hat. Um ihn wieder in Gang zu setzen, müssen die Kugeln p und n wieder in Berührung gebracht und die Belegung c wieder elektrisch gemacht werden.

Will man statt eines continuirlichen Funkenstromes einzelne kräftigere, in grösseren Intervallen auf einander folgende Funken erhalten, so bringt man die Maschine mit einem Ansammlungsapparate

Fig. 109.



oder Condensator in Verbindung. Wir werden diesen Apparat, dessen gebräuchlichste Form die der Leydener Flasche ist, später näher beschreiben. Eine solche Leydener Flasche wird auf der rechten, eine gleiche wird auf der linken Seite der Maschine, Fig. 109, aufgestellt; die

innere Belegung der ersteren wird mit dem Conductor *fg*, die innere Belegung der zweiten wird mit *ei* in leitende Verbindung gebracht, während ein Metalldraht die äusseren Belegungen beider Flaschen verbindet. Entfernt man nun, nachdem der Maschine ihre Ladung ertheilt worden ist, die Kugeln *p* und *n* von einander, so springen zwischen denselben kräftige und stark leuchtende Funken über.

Wenn die beiden Flaschen in der angegebenen Weise mit der Maschine verbunden sind, so findet eine Umkehrung der Polarität statt, so oft man die Kugeln über die Schlagweite von einander entfernt. Nach der ersten Umkehrung treten leuchtende Pünktchen an den Spitzen des Conductors *gg* auf der rechten Seite auf, während man am Conductor *ii* auf der linken Seite kleine positive Büschel beobachtet, welche von den Spitzen aus an der rotirenden Scheibe nach unten strömen. Bringt man nun, nachdem diese kleinen Büschel eben aufgetreten sind, die Kugeln *p* und *n* rasch wieder in Berührung, so flammen die nach unten gerichteten Büschel bei *ii* alsbald zu ihrer vollen Grösse auf. Es strömt nun die positive Elektricität durch die Conductoren in der Richtung von *g* über *f*, *n*, *p* und *e* nach *i*, *n* ist also jetzt die positive, *p* ist die negative Elektrode.

Die Erklärung dieser Umkehrung bietet keine Schwierigkeit.

Um einen beliebigen Körper in den Schliessungsbogen der Maschine einzuschalten, dienen zwei Messinghülsen, welche auf isolirten auf der vorderen Seite des Grundbrettes befindlichen Messingstäbchen steckend und auf diesen mit geringer Reibung verschiebbar bis zur Berührung mit den Messingstäbchen *ep* und *fn* in die Höhe geschoben werden. Die Zuleitungsdrähte für den einzuschaltenden Körper werden dann in den Fuss der Hülsenträger eingeschraubt.

Will man z. B. mit diesem Apparat eine Leydener Flasche laden, so wird von der inneren Belegung ein Draht nach dem Fuss von *x*, von der äusseren aber ein Draht nach dem Fuss von *y* geführt.

Da die Influenzelektrisirmaschine eine grosse Quantität von Elektricität liefert, so können selbst grosse Flaschen und Batterien mit derselben in sehr kurzer Zeit geladen werden.

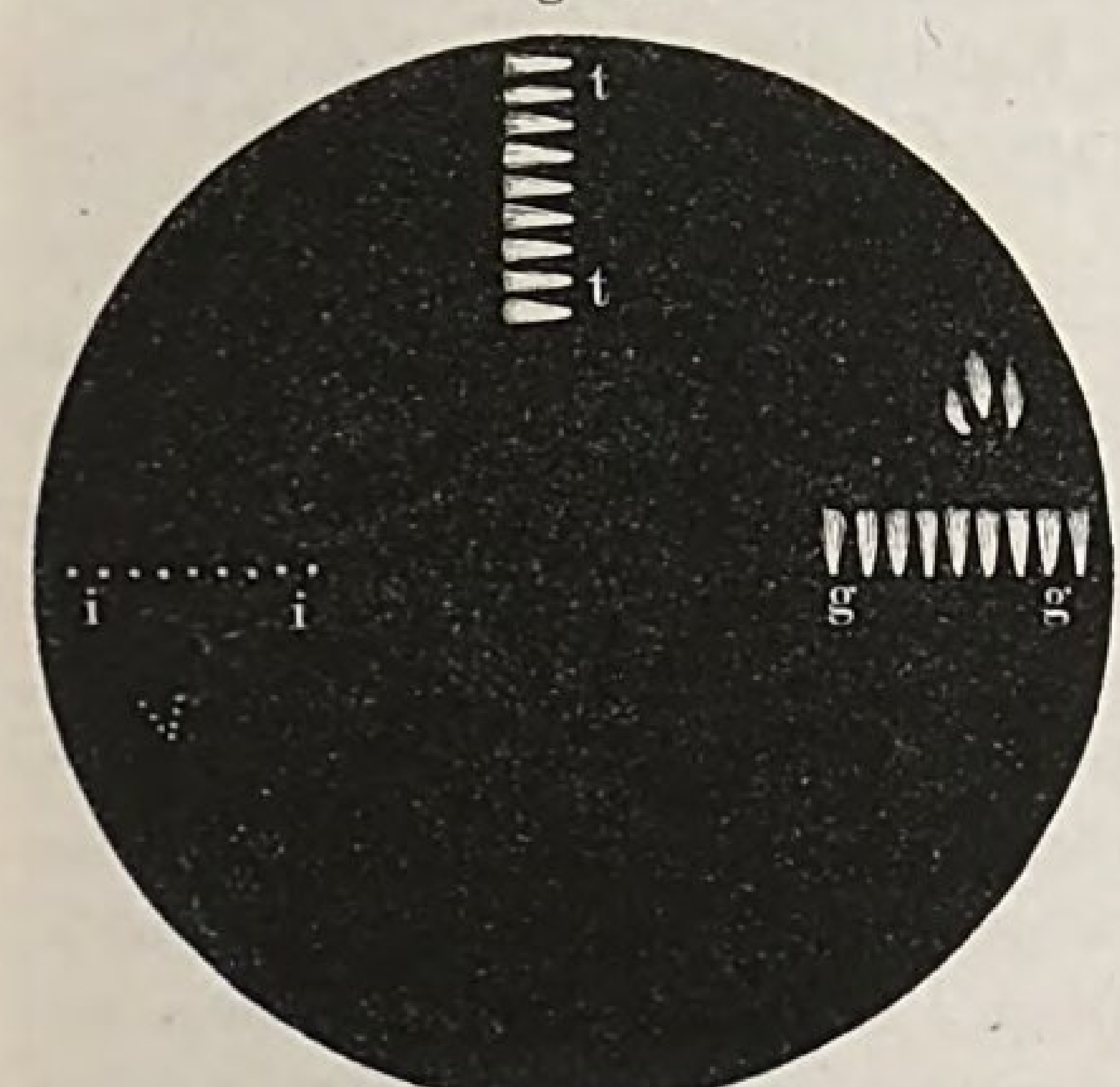
Um die Streifung des Lichtes in den später näher zu besprechenden Geissler'schen Röhren zu zeigen, muss ausser der Röhre noch eine feuchte Schnur in den Schliessungsbogen eingeschaltet werden.

Für den Gebrauch unseres Apparates ist es höchst unangenehm, dass sich die elektrische Ladung desselben so rasch verliert, wenn man die Kugeln *n* und *p* über die Schlagweite hinaus von einander entfernt. Diesen Uebelstand kann man durch die überzähligen Conductoren *rtt* und *uvv* beseitigen, welche bisher ausser Wirksamkeit blieben, weil die Saugarme *tt* und *vv* zu weit von der rotirenden Scheibe *B* entfernt waren. Wird der Arm *tt* mit seinen Spitzen bis dicht vor die Scheibe *B* vorgeschoben, und dann, wenn der Apparat in Gang gesetzt ist, der Conductor *rtt* durch einen Messingbügel mit *fgg* in leitende Verbindung

gesetzt, so verliert sich nun die elektrische Ladung des Apparates nicht mehr, wenn man auch die Kugeln n und p über die Schlagweite hinaus von einander entfernt. Die volle Thätigkeit des Apparates tritt sogleich wieder ein, wenn man die Kugeln n und p, nachdem sie eine Zeit lang weit von einander entfernt waren, wieder nähert. Die Wirksamkeit des überzähligen Conductors ist leicht zu erklären. Wenn der supplementäre Conductor fehlt und die Kugeln p und n über die Schlagweite von einander entfernt sind, so ist der Weg unterbrochen, auf welchem die positive Elektricität von $i\,i$ über $g\,g$, die negative aber von $g\,g$ über $i\,i$ nach der rotirenden Scheibe strömen kann, die rotirende Scheibe kann sich also bei $g\,g$ nicht mehr genügend mit positiver, bei $i\,i$ nicht mehr genügend mit negativer Elektricität laden und die Maschine muss alsbald aufhören zu functioniren. Wenn aber der supplementäre Conductor $r\,t\,t$ in der angegebenen Weise angebracht ist, so kann bei allzugrosser Entfernung der Kugeln p und n die bei $g\,g$ abgestossene negative Elektricität von $g\,g$ nach $r\,t\,t$ und bei $t\,t$ auf die rotirende Scheibe strömen, während die positive auf dem entgegengesetzten Wege von $t\,t$ nach $g\,g$ gelangt.

Dass sich die Sache wirklich so verhält, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man im Dunklen experimentirt. Wenn die Kugeln p und n in Berührung sind, so zeigen sich an den Spitzen von $i\,i$ die schon erwähnten negativen Lichtpünktchen, bei $t\,t$ sowohl als auch bei $g\,g$ aber sieht man positive Lichtbüschel, Fig. 110, welche jedoch weit kleiner sind, als die, welche man in dem Fig. 108 dargestellten Falle bei $g\,g$ beobachtet. Sobald man aber die Kugeln p und n über die Schlagweite entfernt, verschwinden die Lichtpünktchen bei $i\,i$ fast ganz. Die Büschel bei $t\,t$ verwandeln sich in negative Pünktchen, während die Lichtbüschel bei $g\,g$ bedeutend an Grösse zunehmen.

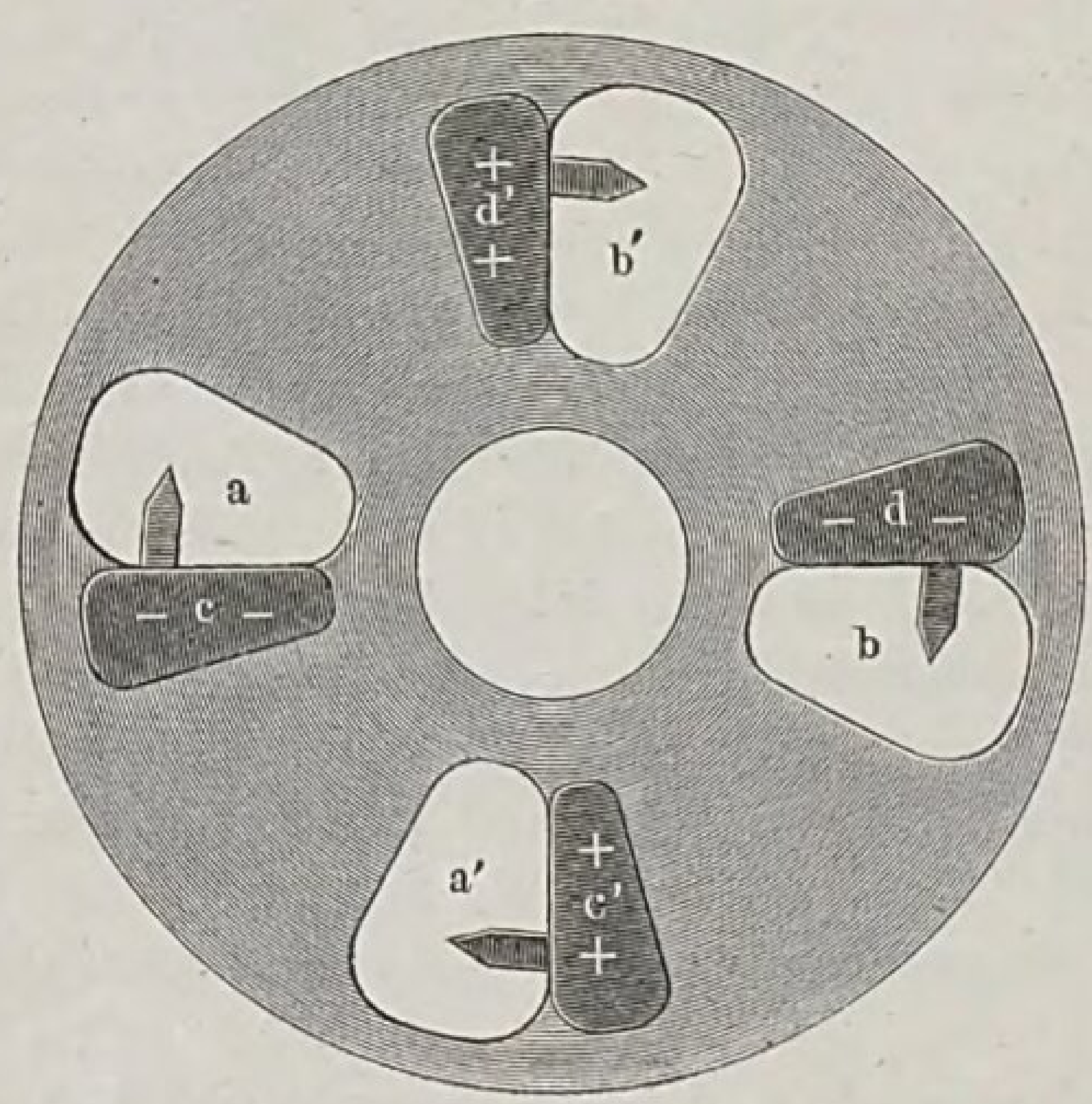
Fig. 110.



Die feste Scheibe A, welche in den Apparat Fig. 109 eingesetzt ist, war mit zwei Belegungen c und d und mit zwei Ausschnitten a und b, oder wie es Holtz nennt, mit zwei Elementen versehen. Man kann dieselbe aber auch mit einer anderen, mit vier Elementen versehenen vertauschen, wie sie in Fig. 111 (a. f. S.) dargestellt ist. Den Belegungen c und d stehen die Conductoren $g\,g$ und $i\,i$, den Belegungen c' und d' stehen die Conductoren $v\,v$ und $t\,t$ gegenüber. Wenn die Belegung c mit $-E$ geladen ist, so wird auch d negativ elektrisch, während c' und d' sich mit positiver Elektricität laden. Aus den Spitzen von $g\,g$ und $i\,i$ wird also

positive, aus den Spitzen von *vv* und *tt* wird negative Elektricität auf die rotirende Scheibe strömen, die von *c* und *d* abströmende negative Elektricität muss also in einer, die von *c'* und *d'* abströmende positive Elektricität muss in der anderen Elektrode gesammelt werden.

Fig. 111.



Dies geschieht in folgender Weise; der Messingbügel, welcher *gg* mit *f* verbindet, wird entfernt und alsdann *uvv* mit *f* und *rtt* durch einen Messingbügel metallisch verbunden; dadurch wird offenbar *n* die positive Elektrode, in welcher die von *tt* und *vv* abströmende positive Elektricität vereinigt wird. Ferner aber wird auch *gg* mit *ii* metallisch verbunden, wodurch dann *p* zur negativen Elektrode wird.

Wenn die Scheibe mit vier Elementen eingesetzt ist, so liefert der Apparat eine grössere Quantität von Elektricität, während die Schlagweite geringer ist als bei Anwendung der festen Scheibe von zwei Elementen.

42 **Dampfelektrisirmaschine.** Im Jahre 1840 machte der Engländer Armstrong eine ebenso interessante als wichtige Entdeckung bekannt. Man hatte ihn benachrichtigt, dass in der Nähe von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils eine ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet worden sei; als nämlich der Maschinenwärter zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl hielt und mit der anderen nach dem Hebel des Ventils fasste, um die Belastung desselben zu reguliren, schlug ein Funken zwischen dem Hebel und seiner Hand über, während er zugleich einen starken elektrischen Schlag erhielt.

Armstrong fand diese Angaben bestätigt und beobachtete bald auch an anderen Dampfkesseln ähnliche Erscheinungen.

Den ausströmenden Dampf fand er positiv elektrisch.

An einer Locomotive, welche auf eine isolirende Unterlage gestellt war, fand Armstrong, dass dieselbe eine starke Ladung negativer Elektricität erhielt, wenn man die positive Elektricität des ausströmenden Dampfes gehörig ableitete, und zwar so, dass man sehr kräftige Funken aus der Locomotive ziehen konnte.

Anfangs war man der Meinung, die Elektricitätsentwickelung möchte wohl durch die Bildung des Dampfes oder seine nachherige Condensation veranlasst werden, und hoffte, dass die neu entdeckte Erscheinung vielleicht zur Aufhellung des Dunkels beitragen möchte, in welches noch die Entstehung der atmosphärischen Elektricität gehüllt ist.

Nach späteren, namentlich von Faraday angestellten Versuchen ist jedoch wohl kein Zweifel mehr, dass die Quelle dieser Elektricität die Reibung des mit Gewalt ausströmenden Dampfes an den Wänden der Oeffnung ist.

Armstrong hat die beim Ausströmen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Construction einer Elektrisirmaschine benutzt, welche er Hydroelektrisirmaschine nennt. Eine kolossale Maschine der Art hat er für das Polytechnic Institution zu London anfertigen lassen.

Dieser Apparat besteht aus einem cylinderförmigen Dampfkessel von 1·1 m Durchmesser und 2 m Länge mit innerer Heizung, welcher durch 6 starke Glasfüsse isolirt ist.

Der Dampf entweicht aus 46 durch Hähne verschliessbaren Röhren, an deren Mündung ein Röhrchen von hartem Holze eingesetzt ist, wodurch die Wirkung sehr verstärkt wird.

Der Dampf strömt gegen eine Reihe von Metallspitzen, die mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, um die Elektricität des Dampfes abzuleiten.

Fig. 112 (a. f. S.) stellt eine solche Dampfelektrisirmaschine dar, deren Kessel 44 cm im Durchmesser hat, und 96 cm lang ist. Die Feuerung ist innen angebracht, wie man in Fig. 112 durch die geöffnet gezeichnete Thür des Feuerungsraumes sieht.

Oben auf dem Dampfkessel befindet sich ein Hut, auf welchem ein kurzes, durch einen Hahn t verschliessbares Messingrohr befestigt ist; auf dieses kurze Rohr können dann die Ausströmungsöffnungen aufgeschraubt werden, die alsbald näher beschrieben werden sollen.

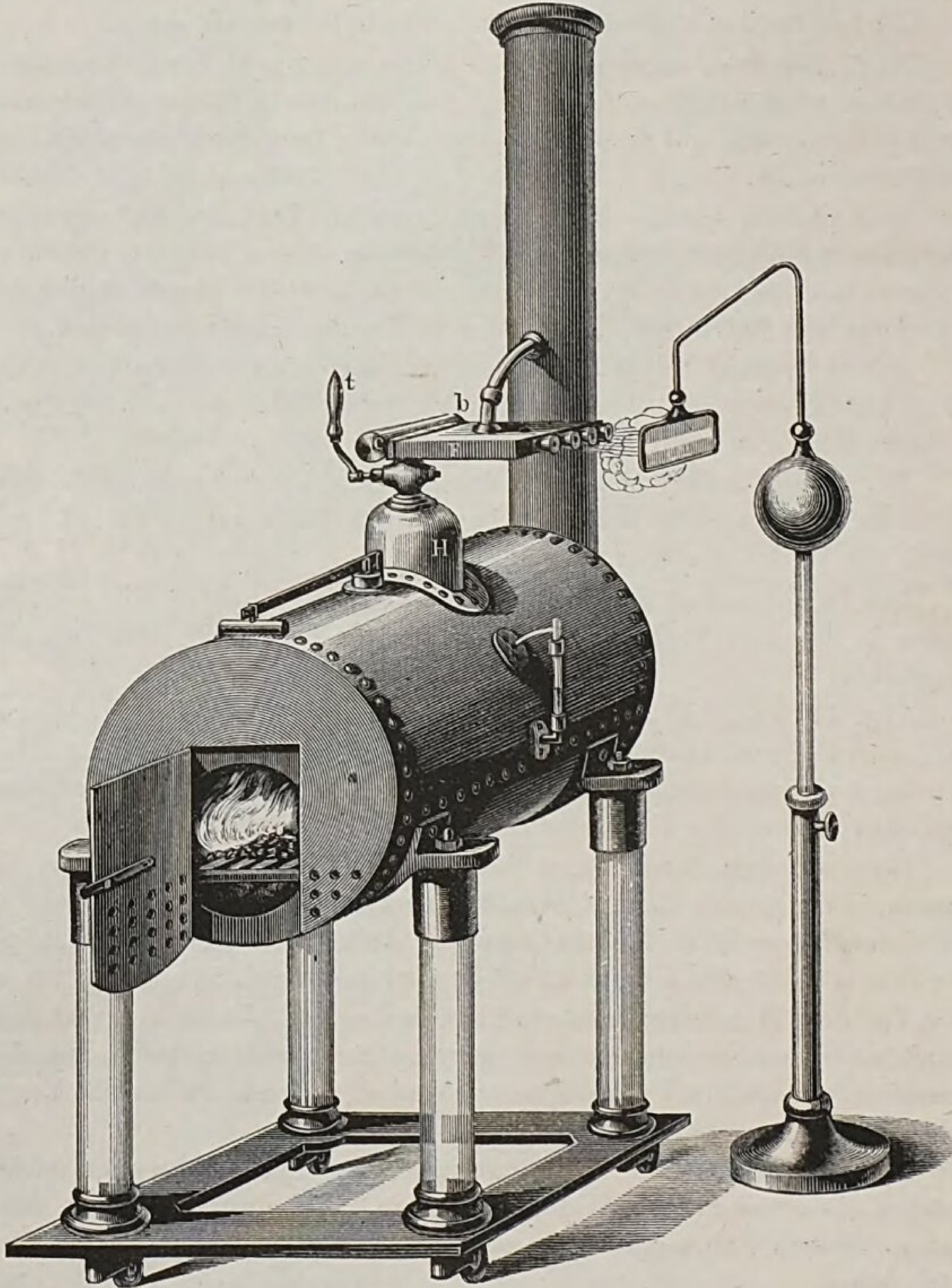
Vor dem Hute sieht man ein Sicherheitsventil, dessen Gewicht verschiebbar ist und welches so weit herausgerückt werden kann, dass der Dampf eine Spannkraft von 6 Atmosphären erreichen muss, um das Ventil heben zu können.

Auf der rechten Seite des Dampfkessels ist ein Glasrohr angebracht, welches oben und unten mit dem Kessel in Verbindung steht, so dass man an diesem Rohre gerade so wie bei Locomotiven den Wasserstand sehen kann.

In Fig. 113 ist der auf den Kessel aufgeschraubte Apparat mit den Ausströmungsöffnungen besonders abgebildet, und zwar von oben gesehen. Auf den Hals des Dampfkessels wird ein gusseisernes Rohr bc von ungefähr 24 cm Länge und 5 cm Durchmesser aufgeschraubt. Aus diesem Rohre tritt dann der Dampf durch sechs horizontale Röhren ad aus, welche durch einen mit kaltem Wasser gefüllten Kasten F von Messing-

blech hindurchgehen, so dass ein Theil des durch die Röhren strömenden Dampfes condensirt wird, was die Wirkung sehr verstärkt.

Fig. 112.



Auf eine Oeffnung *o* im oberen Deckel des Kastens *F* wird ein Messingrohr aufgesetzt, welches, wie Fig. 112 zeigt, in den Schornstein führt und durch welches die im Kasten *F* gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 114 stellt eine der in Fig. 113 mit *d* bezeichneten Ausströmungsöffnungen im Durchschnitt und zwar in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Grösse

dar. An das Ende des Rohres wird ein Messingstück MN eingeschraubt, in welchem der das Ende der Ausströmungsröhre bildende Holzpflock $abcd$ steckt. Dieser der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Messingstück MN eingeschraubten kurzen Messingcylinder r an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbrochenen Cylinder r ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, dass der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muss, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Fig. 113.

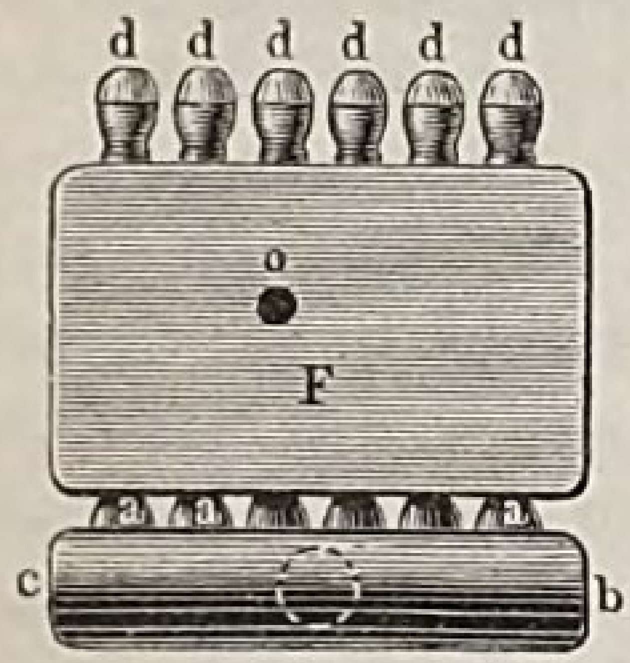
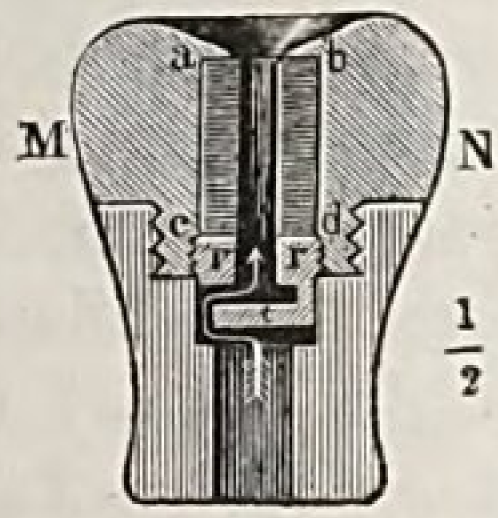


Fig. 114.



Wenn der Apparat Fig. 113 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffs t, Fig. 112, der Absperrhahn geöffnet, der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muss die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, dass man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen stellt, welche an einem messingenen Conductor befestigt sind, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Dieser Conductor steht auf einem Glasfusse, so dass man ihn isoliren kann, um zu zeigen, dass der Dampf in der That die entgegengesetzte Elektricität des Kessels hat.

Mit dieser Hydroelektrisirmaschine lässt sich eine Batterie von 3·6 qm Oberfläche in Zeit von 30 Secunden vollständig laden.

Wenn Apparate der eben beschriebenen Art in kleineren Dimensionen ausgeführt werden, so wird der Effect unverhältnissmässig gering. — Um die Versuche über Dampfelektricität auch ohne besonderen isolirten Dampfkessel anstellen zu können, hat Schwerd einen zweckmässig construirten Ausströmungsapparat an einer Locomotive angebracht, die nicht isolirt zu werden braucht, weil er nicht mit der Elektricität des Kessels, sondern mit der Elektricität des Dampfes experimentirt, welche durch einen mit Saugspitzen versehenen isolirten Conductor aufgesaugt wird. Dieser Conductor ist dem in Fig. 112 rechts vom Dampfkessel stehenden ähnlich.

Zu wissenschaftlichen Versuchen über die Natur der hier erzeugten Elektricität hat man das Maximum der Wirkung gar nicht nöthig, man braucht nur eine einzige Ausströmungsöffnung anzuschrauben.

Dass die Elektricität hier wirklich durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Ausflusscanals und nicht etwa durch die Dampfbildung erzeugt wird, geht daraus hervor, dass augenblicklich alle Elek-

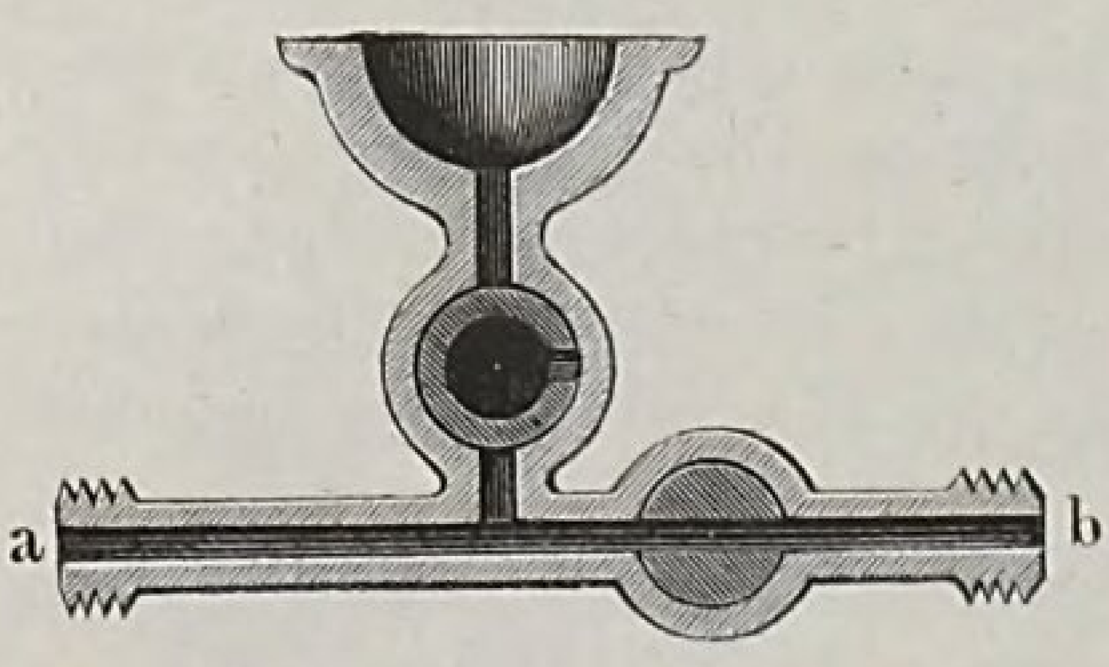
tricität verschwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität ist es wesentlich, dass schon condensirte Wassertheilchen von dem ausströmenden Dampf mit durch die Ausströmungsröhren durchgetrieben werden; deshalb der Condensationsapparat *F*, Fig. 113. Wenn die Ausströmungsröhren lang genug sind, ist kein besonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, so ist der Kessel negativ, der Dampf positiv elektrisch; dasselbe ist der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläsernen Dampfmündung. Wendet man statt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, so zeigt der Kessel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausströmungsröhre bringt, so wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch. Um das Terpentinöl oder auch andere Flüssigkeiten bequem in die Ausströmungsröhre einbringen zu können, wendet man eine Vorrichtung an, welche durch Fig. 115 angedeutet ist. *ab* ist ein Stück des Ausströmungsrohres; aus demselben geht eine Röhre vertical in die Höhe, welche durch einen Hahn von eigenthümlicher Einrichtung geschlossen wird; er bildet nämlich eine Höhlung, welche nur nach einer Seite offen ist. Ueber diesem Hahn befindet sich eine trichterförmige Erweiterung, in welche die Flüssigkeit eingegossen wird. Wenn der Hahn steht, wie ihn die Zeichnung darstellt, so ist seine Höhlung weder mit dem Trichter noch mit dem Rohr in Verbindung. Wird die Oeffnung des Hahnes nach oben gekehrt, so füllt sich seine Höhlung mit der Flüssigkeit aus dem Trichter; dreht man jetzt den Hahn um eine halbe Umdrehung, so muss nun die Flüssigkeit aus der Höhlung in das Rohr fallen.

Fig. 115.



Wenn durch Terpentinöl der Kessel positiv gemacht worden ist, so verliert sich dieser Zustand bald wieder, wenn nicht neues Terpentinöl eingebracht wird, und geht in den negativen über, sobald alles Terpentinöl weggerissen und verdampft ist. Fette Oele, wie Baumöl, bringen dieselbe Wirkung hervor, nur ist ihre Wirkung bleibender, weil sie nicht so flüchtig sind. Ein Holzfutter, durch welches einmal ein fettes Oel durchgeströmt ist, ist unbrauchbar, um den kräftigen negativen Zustand des Kessels wieder zu erzeugen, wie er entstehen würde, wenn der Dampf durch eine nicht fette Holzröhre ausströmte.

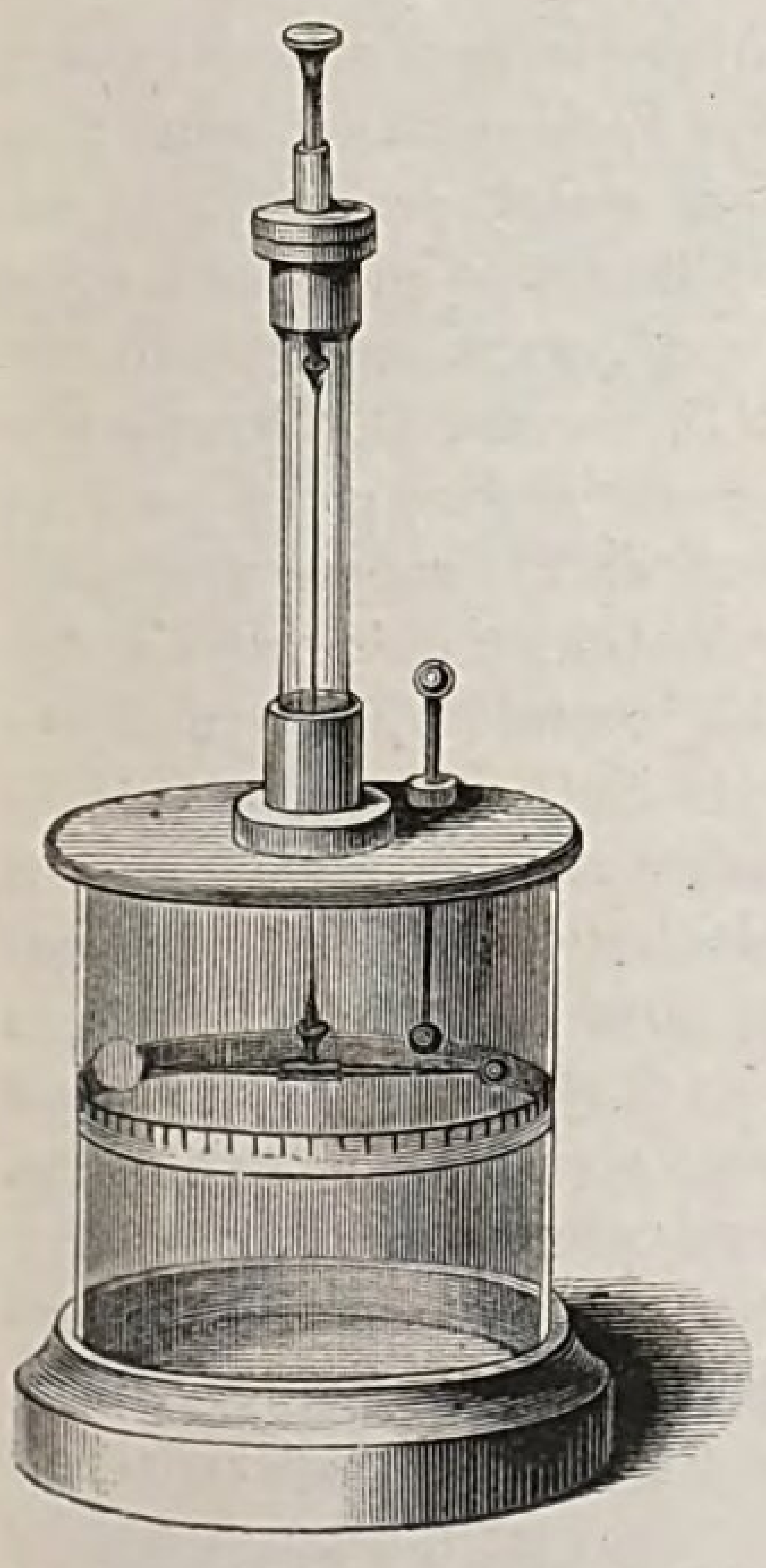
Bringt man durch den Hahn, Fig. 115, eine Salzlösung in die Ausströmungsröhre, so hört augenblicklich alle Elektricitätsentwickelung auf.

Alle diese Umstände beweisen, dass nur in der Reibung der ausströmenden Wasser- und Dampftheilchen an den Röhrenwänden und nicht in der Veränderung des Aggregatzustandes die Ursache der Elektricitätsentwickelung zu suchen sei.

Intensität der elektrischen Anziehungen und Abstossungen. 43 Die elektrischen Anziehungen und Abstossungen verhalten sich wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden Elektricitäten, und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung. Dieses Fundamentalgesetz der elektrischen Wirkungen ist wie das entsprechende Gesetz für die magnetischen Kräfte von Coulomb aufgestellt und bewiesen worden. Er wandte hier ganz ähnliche Mittel an, wie dort, nämlich die Drehwage und die Oscillationen einer kleinen elektrischen Nadel.

Man kann die Drehwage in der schon auf S. 55 beschriebenen Gestalt auch zu elektrischen Versuchen anwenden, für welche jedoch die Form Fig. 116 weit geeigneter ist. Vor Allem muss man dafür sorgen, dass alle Wände möglichst gut isoliren. Der gleichfalls gut isolirende Deckel hat zwei Löcher, eines in der Mitte, über welchem die Röhre sich erhebt, und ein anderes auf der Seite, um die elektrisirten Körper in den Apparat hineinzubringen. Der Torsionskreis am oberen Theile der Röhre ist gerade so eingerichtet, wie zu den magnetischen Versuchen. Der Silber- oder Messingfaden, welcher in dem Rohre herunterhängt, trägt an seinem unteren Ende eine leichte Nadel von Schellack, die sehr gut äquilibrirt sein muss, und an einem Ende ein Kügelchen von Hollundermark oder ein Scheibchen von Blattgold trägt, welches 13 bis 17 mm im Durchmesser hat. Auf den Boden setzt man, um die Luft im Inneren trocken zu erhalten, ein Schälchen, in welchem sich einige Stücke Chlorcalcium befinden.

Fig. 116.



In Betreff der Verbesserungen, welche Riess noch an der Drehwage angebracht hat, um den Messungen mit derselben grössere Genauigkeit und Bequemlichkeit zu sichern, müssen wir auf dessen vortreffliches Werk: „Die Lehre von der Reibungselektricität“ verweisen.

Um mit diesem Apparate das Gesetz der elektrischen Abstossung zu beweisen, ertheilt man der Scheibe oder dem Kügelchen der horizontalen

Schellacknadel eine Ladung und bringt dann ein mit derselben Elektricität geladenes Scheibchen oder Kügelchen, welches am unteren Ende eines vertical gehaltenen Schellackstäbchens befestigt ist, wie Fig. 116 zeigt, in den Apparat. Der Torsionskreis muss anfänglich so gestellt sein, dass, bevor ein elektrisirter Körper in den Apparat gebracht wird, das eine Ende der horizontalen Schellacknadel, welches das Scheibchen oder Kügelchen trägt, an der Stelle sich befindet, welche nachher das untere Ende des von oben eingeschobenen Schellackstabes einnimmt. Bei dieser Stellung ist die horizontale Schellacknadel nach dem Nullpunkte der Theilung gerichtet. Sobald nun das Scheibchen, welches unten am verticalen Schellackstabe sich befindet, mit derselben Elektricität geladen ist, wie das Scheibchen der horizontalen Nadel, so findet eine Abstossung statt, deren Stärke durch die Torsion des Drahtes nach den in §. 24 besprochenen Grundsätzen ermittelt werden kann.

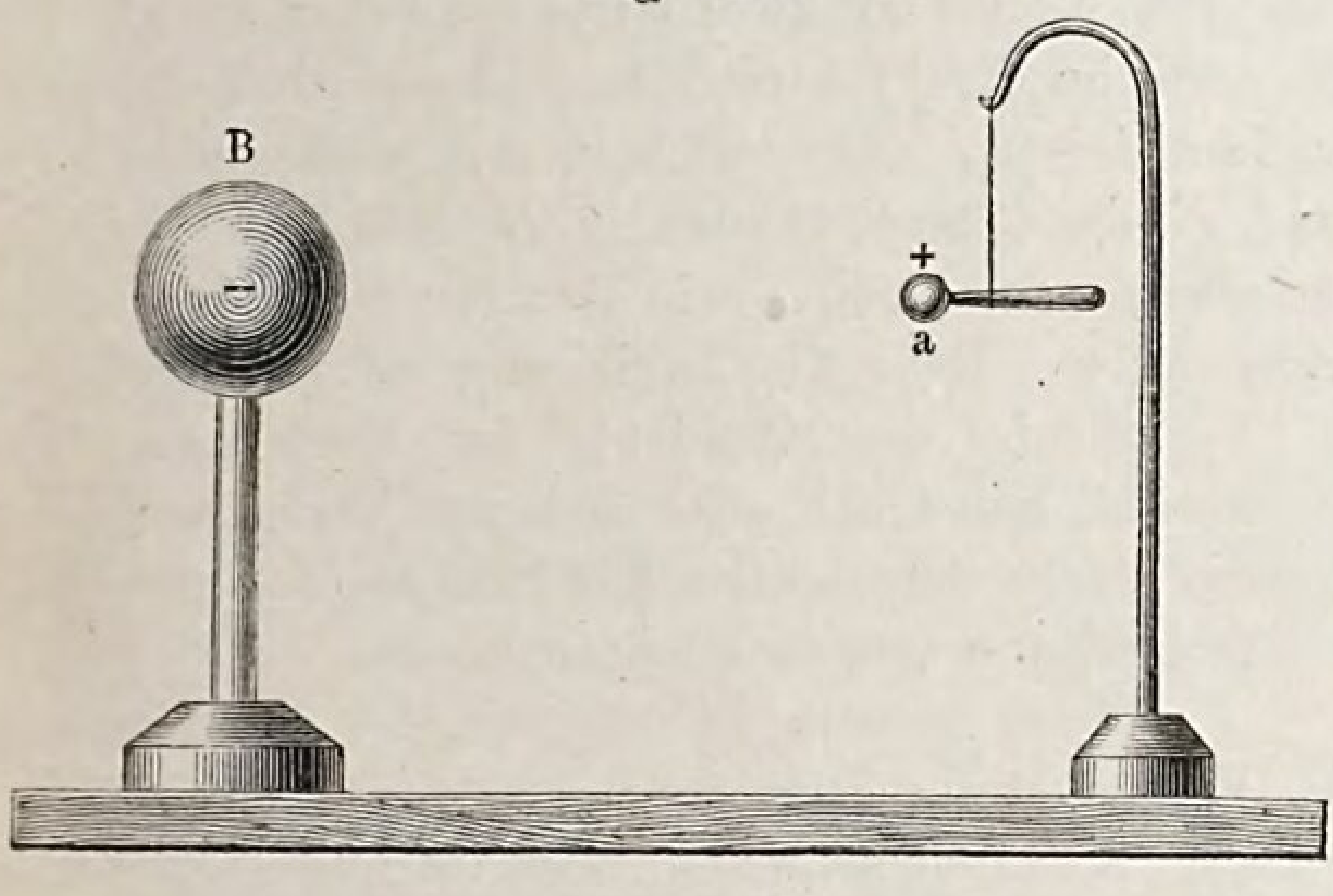
Hat man den sich abstossenden Kugeln in der Drehwage eine bestimmte Ladung ertheilt und dem Draht eine solche Torsion t gegeben, dass ihre Entfernung gleich r ist, so findet man, dass bei unveränderter Ladung eine Torsion $4t$, $9t$ etc. nöthig ist, um die Kugeln auf die Entfernung $\frac{1}{2}r$, $\frac{1}{3}r$ etc. zu nähern.

Um zu beweisen, dass die elektrischen Abstossungen sich verhalten wie die Dichtigkeit der auf einander wirkenden Elektricitäten, muss man ein Princip anwenden, welches schon für sich selbst einleuchtend ist: dass nämlich auf zwei leitenden, isolirten und vollkommen gleichen Kugeln sich die Elektricität, die sich auf ihnen befindet, ganz gleich vertheilt, wenn man sie in Berührung bringt. Wäre z. B. vor der Berührung nur die eine der beiden Kugeln elektrisirt gewesen, die andere nicht, so wird bei der Berührung die erstere die Hälfte ihrer E an die andere verlieren. Nachdem man nun zuerst die Torsionskraft bestimmt hat, welche der abstossenden Kraft zwischen der Kugel der horizontalen Nadel und der des eingeschobenen Stabes für eine bestimmte Entfernung das Gleichgewicht hält, berührt man die Kugel des Stabes mit einer vollkommen gleichen, auf dieselbe Weise isolirten, nicht elektrischen Kugel. Die auf diese Weise berührte Kugel verliert die Hälfte ihrer Elektricität, und um nun wieder gleiche Ablenkung der horizontalen Nadel zu erhalten, darf die Torsion des Fadens nur halb so gross sein, als vor der Berührung. Nimmt man auf dieselbe Weise der einen Kugel wieder die Hälfte ihrer Elektricität, so wird die abstossende Kraft abermals um die Hälfte vermindert etc. Nimmt man zu gleicher Zeit jeder der beiden Kugeln in der Drehwage die Hälfte ihrer Elektricität, so ist die Wirkung zwischen beiden 4 mal schwächer als vorher.

Das Gesetz, nach welchem die elektrische Anziehung und Abstossung bei wachsender Entfernung der auf einander wirkenden elektrischen Körper abnimmt, hat Coulomb auch durch die Oscillationen eines elektrischen Pendels in folgender Weise ermittelt. Er liess eine kleine Nadel von Schellack, die an einem Seidenfaden horizontal aufgehangen

war und welche an ihrem Ende eine kleine metallene Hohlkugel a, Fig. 117, trug, unter dem Einflusse einer isolirten Kugel B oscilliren, nachdem man sowohl der Kugel B als auch der kleinen Kugel a eine elektrische Ladung mitgetheilt hatte. Sind a und B mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen, so nimmt das Schellackstäbchen mit der Kugel a die in Figur 117 angedeutete Stellung ein, sind aber a und B mit derselben Elektricität geladen, so wird das Schellackstäbchen eine solche Stellung einnehmen, dass a das von B abgewendete Ende desselben bildet. Etwas aus seiner Gleichgewichtslage in horizontaler Ebene entfernt, wird nun das kleine horizontale Pendel um seine verticale Axe oscilliren, und aus der Schwingungsdauer kann man auf die Intensität der Wirkung schliessen, welche die Elektricität, mit welcher B geladen ist, auf diejenige ausübt, welche a enthält.

Fig. 117.



Bezeichnen wir nun mit t die Schwingungsdauer des kleinen elektrischen Pendels für eine bestimmte Entfernung der beiden Kugeln, so wird man bei gleicher Ladung die Schwingungsdauer nahe gleich $2t$, $3t \ldots nt$ finden, wenn der Abstand der beiden Kugeln 2 mal, 3 mal ... n mal so gross ist.

Nun aber ist die Schwingungsdauer irgend eines Pendels stets der Quadratwurzel aus der beschleunigenden Kraft, welche es treibt, umgekehrt proportional, wir haben also:

$$t : nt = \sqrt{\frac{1}{v}} : \sqrt{\frac{1}{v'}},$$

wenn wir mit v die beschleunigende Kraft bezeichnen, welche auf das kleine Pendel bei einfachem, und mit v' diejenige, welche auf dasselbe bei dem nfachen Abstand der Kugeln a und B wirkt. Aus obiger Gleichung ergiebt sich aber

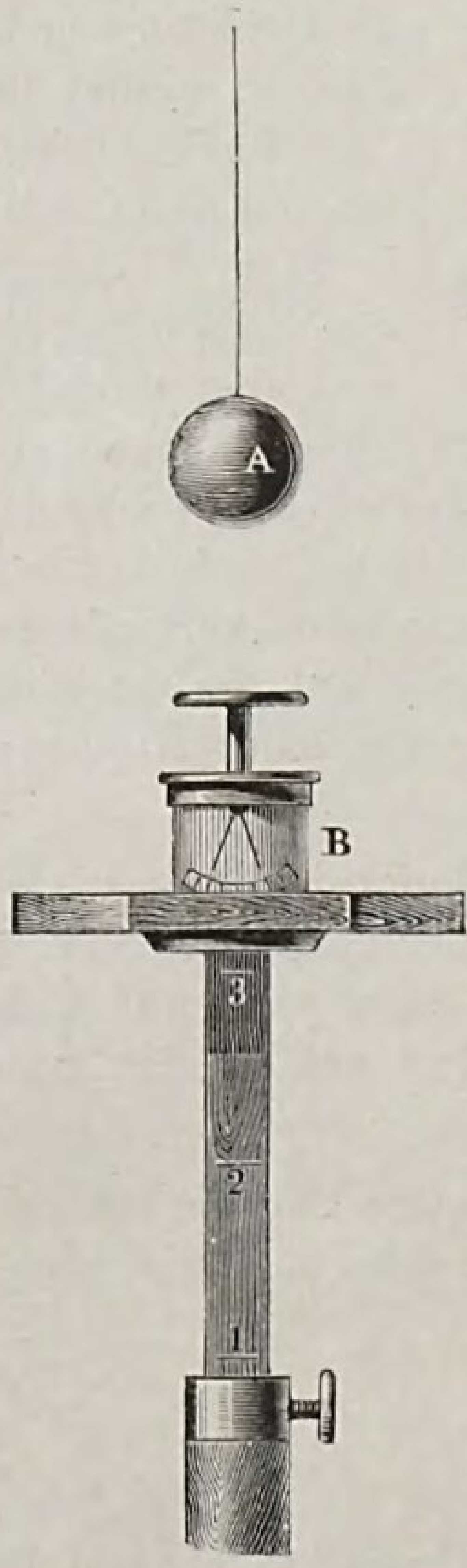
$$v' = \frac{v}{n^2}.$$

Die Intensität der elektrischen Wirkung zwischen den beiden Kugeln a und B nimmt also in demselben Verhältnisse ab, in welchem das Quadrat ihrer Entfernung wächst, oder

wie man es gewöhnlich kurz ausdrückt: sie verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung.

Die Quantität der Elektricität, welche ein elektrischer Körper *A* in einem benachbarten isolirten Leiter *B* zu binden vermag, ist der Anziehung proportional, welche die Elektricität in *A* auf die entgegengesetzte in *B* ausübt. Das Gesetz, nach welchem mit wachsender Entfernung zwischen *A* und *B* die Quantität der in *B* gebundenen Elektricität abnimmt, muss also dasselbe sein, wie das für die elektrischen Anziehungen und Abstossungen. Dass die Anziehung im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung abnimmt, muss sich also auch aus Versuchen über die Stärke der elektrischen Bindung für verschiedene Entfernungen ableiten lassen.

Fig. 118.



Nach diesem Princip wurde die folgende Versuchsreihe ausgeführt.

An einer seidenen, wohl isolirenden Schnur, Fig. 118, war eine hohle Messingkugel *A* von 5 cm Durchmesser aufgehängt. Genau unter derselben stand ein Strohhalmelektrometer, welches empirisch graduirt worden war, auf der Platte eines Stativs, welche beliebig auf- und abgeschoben und in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden konnte. Die Messingplatte des Elektrometers hatte 4 cm Durchmesser.

An dem Stabe, welcher die Platte des Stativs trug, waren drei Striche in einem Abstande von 8 cm angebracht. Wenn der unterste dieser Striche gerade an dem oberen Ende des hohlen Fusses einstand, war die Platte des Elektrometers 8 cm von dem Mittelpunkte der Kugel entfernt; diese Entfernung betrug 16 cm oder 24 cm, wenn der zweite oder der oberste der drei Striche ebenso einstand. Nehmen wir 8 cm zur Einheit, so befand sich also die Elektrometerplatte einmal in der Entfernung 1, dann in der Entfernung 2, endlich in der Entfernung 3 von dem Mittelpunkte der Kugel *A*.

Als die Platte des Elektrometers in der Entfernung 3 von der Kugel stand, wurde nun diese Platte ableitend mit dem Finger berührt, und die Kugel *A* dadurch geladen, dass sie mit der Kugel einer kleinen geladenen Leydener Flasche in Berührung gebracht wurde.

War auf diese Weise die Kugel geladen, so wurde die Flasche rasch auf die Seite gestellt.

Die Elektricität auf *A* musste nun eine bestimmte Quantität entgegengesetzter *E* auf der Platte von *B* binden, die alsbald messbar wurde,

wenn man den Finger von der Platte zurückzog und sogleich die Kugel *A* mit der Hand fasste und auf Seite schob. Es ergab sich eine Ablenkung von 6^0.

Nun wurde die Platte des Stativs um 8 cm höher gestellt, so dass jetzt die Entfernung zwischen der Elektrometerplatte und dem Mittelpunkte von *A* gleich 2, also 2 × 8 cm, war, und der Versuch auf dieselbe Weise wiederholt, wobei dieselbe Flasche mit der nämlichen Ladung angewandt wurde. Es ergab sich die Divergenz 12^0.

Derselbe Versuch in der Entfernung 1 wiederholt, gab die Divergenz $30{\cdot}5^0$.

Jetzt wurde der Elektrometer der Reihe nach in die Entfernung 2, 3, 2, 1, 2, 3 etc. gebracht und immer derselbe Versuch angestellt. Die Resultate der Beobachtungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

											Mittel.
1	30·5	31·5	30	31	30						30·6
2	12	12	12·5	10	12	11	10·5	11·5	11	11·5	11·4
3	6	6	5·5	6	7	6					6·2

Bei gleicher Ladung der Kugel *A* erhielt man also im Mittel die Divergenz $30{\cdot}6^0$ für die Entfernung 1; die Divergenz $11{\cdot}4^0$ für die Entfernung 2, und endlich die Divergenz $6{\cdot}2^0$ für die Entfernung 3.

Die gleiche Ladung der Kugel *A* wurde dadurch erhalten, dass sie immer mit der Kugel derselben für die ganze Versuchsreihe ein- für allemal geladenen Leydener Flasche berührt wurde. Allerdings wurde die Ladung der Flasche bei jeder Berührung mit der Kugel etwas vermindert, doch ist diese Verminderung nach 20 maliger Berührung noch unmerklich, wie man aus obiger Tabelle ersieht.

Die empirische Graduirung des Elektrometers hatte ergeben, dass

dem Ausschlag	30·6	die Ladung	8·5 entspricht
„ „	11·4	„ „	2·08 „
„ „	6·2	„ „	0·96 „

Es verhalten sich aber 8·5 : 2·08 : 0·96 sehr nahe wie $1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{9}$, die bindende Wirkung, welche die Kugel *A* auf die Elektrometerplatte *B* ausübt, nimmt also in der That im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung ab.

Allmäliger Verlust der Elektricität. Wenn ein elektrischer 44
Leiter noch so gut isolirt ist, so verliert er doch nach und nach seine Elektricität, sie zerstreut sich in der Luft oder geht in den Boden über. Da sich nun ein solcher Verlust nicht vermeiden lässt, so muss man doch bei genauen Versuchen dafür sorgen, dass er möglichst langsam vor sich gehe, dass er regelmässig und messbar werde, damit man ihn in

Rechnung bringen kann. Ohne dies ist eine genaue Messung und Vergleichung elektrischer Kräfte ganz unmöglich.

Der Verlust durch die isolirenden Träger findet theils durch ihre Substanz, theils durch eine dünne Feuchtigkeitsschicht statt, mit welcher sie sich überziehen. Dieses letztere findet besonders bei Glas und Seide statt, auf welche sich Wasserdampf sehr leicht niederschlägt. Es ist deshalb immer nöthig, Glasoberflächen, die gut isoliren sollen, mit einer Schicht von Schellackfirniss zu überziehen. Nach Coulomb's Versuchen isolirt ein so überzogener Glasstab schwache Ladungen ebenso wie eine Schellackstange, wenn er 40 bis 50 cm lang ist. Man muss freilich durch Erwärmen dafür sorgen, dass alle Feuchtigkeit vollkommen entfernt sei. Da solche Träger nur dann vollständig isoliren, wenn sie eine hinreichende Länge haben, so ist klar, dass sie selbst eine gewisse elektrische Ladung annehmen und man begreift wohl, dass eine stärkere Ladung, die gleichartige Elektricität mit grosser Kraft abstossend, sie bis an das Ende des isolirenden Trägers treibt und sie nöthigt, langsam und continuirlich in den Boden überzuströmen. Dass ein Leiter durch seine Träger vollständig isolirt sei, erkennt man daran, dass er, mit mehreren derselben in Berührung gebracht, nicht mehr verliert, als wenn er nur von einem einzigen getragen wird. Aller Verlust, welchen er alsdann erleidet, rührt nur von der Berührung mit der Luft her.

Der Verlust durch die Luft rührt grösstentheils von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf her, denn er nimmt mit der Feuchtigkeit der Luft zu. Es ist dies so auffallend, dass, wenn man über eine elektrische Glasröhre oder einen Harzstab hinbläst, diese alle Elektricität verlieren. Ebenso verhält es sich, wenn man nach einem isolirten Leiter bläst, nur darf man natürlich diesem nicht zu nahe kommen, weil sonst ein Funken überspringt. Es rührt aber nicht aller Verlust, den ein elektrisirter Körper in der Luft erleidet, nur von der Gegenwart des Wasserdampfes her, denn selbst in einer Luft, welche durch Chlorcalcium vollständig getrocknet ist, findet ein solcher Verlust statt, wie die Versuche mit der Drehwage zeigen.

Wie gross dieser Verlust ist, lässt sich durch den Versuch leicht ermitteln. Nachdem z. B. den beiden Kügelchen der Drehwage eine solche Ladung ertheilt worden war, dass es einer Drehung des oberen Mikrometers von 250^0 bedurfte, um die Kügelchen in einem Abstand von 20^0 zu erhalten, betrug also ursprünglich die Torsionskraft, welche der abstossenden Kraft das Gleichgewicht hielt, $250 + 20 = 270^0$. Nach und nach näherten sich aber die Kügelchen; man musste nach einer Minute die Torsion um 6^0 vermindern, um die Entfernung von 20^0 wieder zu erhalten. In einer Minute war also der Verlust an Elektricität entsprechend einer Torsion von 6^0. Zu Anfang der Minute war die elektrische Kraft gleich einer Torsion von 270^0, am Ende derselben gleich 264^0; die mittlere elektrische Kraft während dieser Minute war also

$$\frac{270 + 264}{2} = 267^0.$$

In einer Minute betrug also der Verlust $\frac{6}{267}$ oder $\frac{1}{44}$ der mittleren elektrischen Kraft.

Auf diese Weise hat Coulomb genau den elektrischen Verlust in der Luft ermittelt. An trockenen Tagen war er $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$ der mitttleren Kraft für jede Minute, an feuchten Tagen betrug er oft $\frac{1}{20}$; unter solchen Umständen sind genaue Versuche nicht möglich. Wenn in der Atmosphäre wenige Veränderungen vorgehen, seien es nun Veränderungen der Wärme oder der Windrichtung, so bleibt der Verlust durch die Luft den ganzen Tag über fast derselbe.

Auch den elektrischen Verlust eines ausserhalb der Drehwage befindlichen isolirten Leiters kann man mit der Drehwage messen. Man berührt ihn an einer bestimmten Stelle mit einem Probescheibchen und bringt dieses in die Drehwage, deren horizontale Nadel sich noch im natürlichen Zustande befindet. Anfangs wird sie angezogen, berührt das Probescheibchen, ladet sich mit seiner Elektricität und wird dann abgestossen. Die Stärke der Abstossung wird auf die bekannte Art gemessen. Will man sehen, wie viel die elektrische Ladung des isolirten Leiters nach einer bestimmten Zeit abgenommen hat, so muss man vorerst die Nadel der Drehwage wieder in den natürlichen Zustand versetzen und dann den Versuch ganz auf dieselbe Weise wiederholen.

Bei den Versuchen über die Stärke der elektrischen Bindung in verschiedenen Entfernungen, wie sie auf Seite 126 beschrieben wurden, ist der allmälige Verlust der Elektricität weit weniger merklich als bei den Versuchen mit der Drehwage.

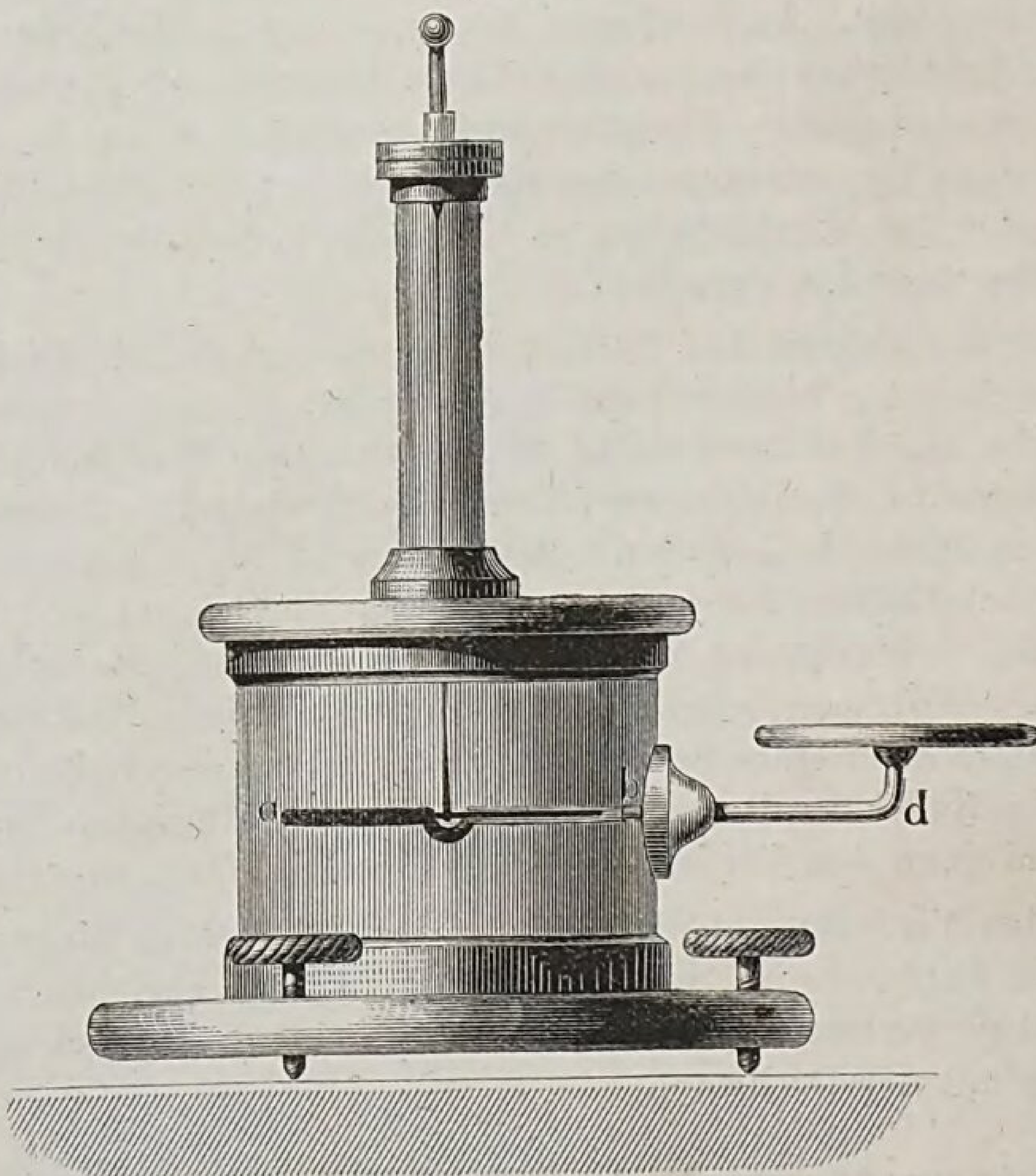
Elektrometer nach dem Principe der Drehwage. Die 45
Coulomb'sche Drehwage ist zwar ein Instrument von grosser Genauigkeit, aber keineswegs von grosser Empfindlichkeit. Für Elektricitätsquellen schwacher Spannung ist sie nicht brauchbar. Verschiedene Physiker, namentlich Peltier, Oersted, Dellmann, Thomson und Romershausen haben aber Elektrometer nach dem Princip der Drehwage construirt, welche sich durch einen hohen Grad von Empfindlichkeit auszeichnen.

Fig. 119 (a. f. S.) stellt ein modificirtes Dellmann'sches Elektrometer dar. An einem Coconfaden hängt, mittelst etwas Schellack daran befestigt, ein feines gerades metallenes Stäbchen (Nadel). Es senkt sich mit seiner Mitte in den Ausschnitt eines aus Messing- oder Silberblech verfertigten Streifchens ab; die eine Hälfte desselben ist ein klein wenig nach vorn, die andere etwas zurückgebogen, so dass sich die metallische Nadel der Länge nach, und zwar mit seiner einen Hälfte an die eine, mit der anderen an die andere Seite des Streifchens ab anlegen kann. Der obere Theil der Vorrichtung wird so gedreht, dass die Nadel

durch die Torsion des Fadens an den Streifen *ab* ganz schwach angedrückt wird.

Ein Messingdraht *bd* geht isolirt durch eine in die Seitenwand des Gefässes gebohrte Oeffnung und wird durch eine aufgekittete Fassung

Fig. 119.



von Holz oder Metall gehalten. Innerhalb des Gefässes trägt er das Streifchen *ab*, ausserhalb eine Condensatorplatte oder eine kleine Metallkugel.

Sobald dem Draht *bd* die geringste Menge Elektricität mitgetheilt wird, geht ein Theil derselben auf die Nadel über, welcher nun vom Streifchen *ab*, abgestossen wird und, in Ruhe gekommen, einen um so grösseren Winkel mit *ab* macht, je stärker die Ladung war.

R. Kohlrausch hat das Dellman'sche Elektrometer in ein Instrument umgewandelt, welches zu den feinsten Messungen geeignet ist (Poggdorff's Annal. Bd. LXXII). Fig. 120 stellt dasselbe dar, wie es vom Mechanikus Schubert in Marburg (nach dessen Zeichnung Fig. 120 gestochen ist) construirt wird. Das Gehäuse *A*, welches mittelst dreier Stellschrauben auf einem eisernen Gestelle ruht, ist von Metall und hat doppelte Wände, um die durch ungleichmässige Erwärmung im Inneren leicht entstehenden Luftströmungen zu verhüten. Oben ist es durch eine in ihrer Mitte durchbohrte Glasplatte geschlossen, welche das Rohr

B trägt. Die Nadel *nn* befindet sich ziemlich in der Mitte des Gehäuses. Sie ist äusserst leicht aus Silber gearbeitet und hängt an einem sehr feinen, unten in einen Schellackfaden *m*, Fig. 121, auslaufenden

Fig. 120.

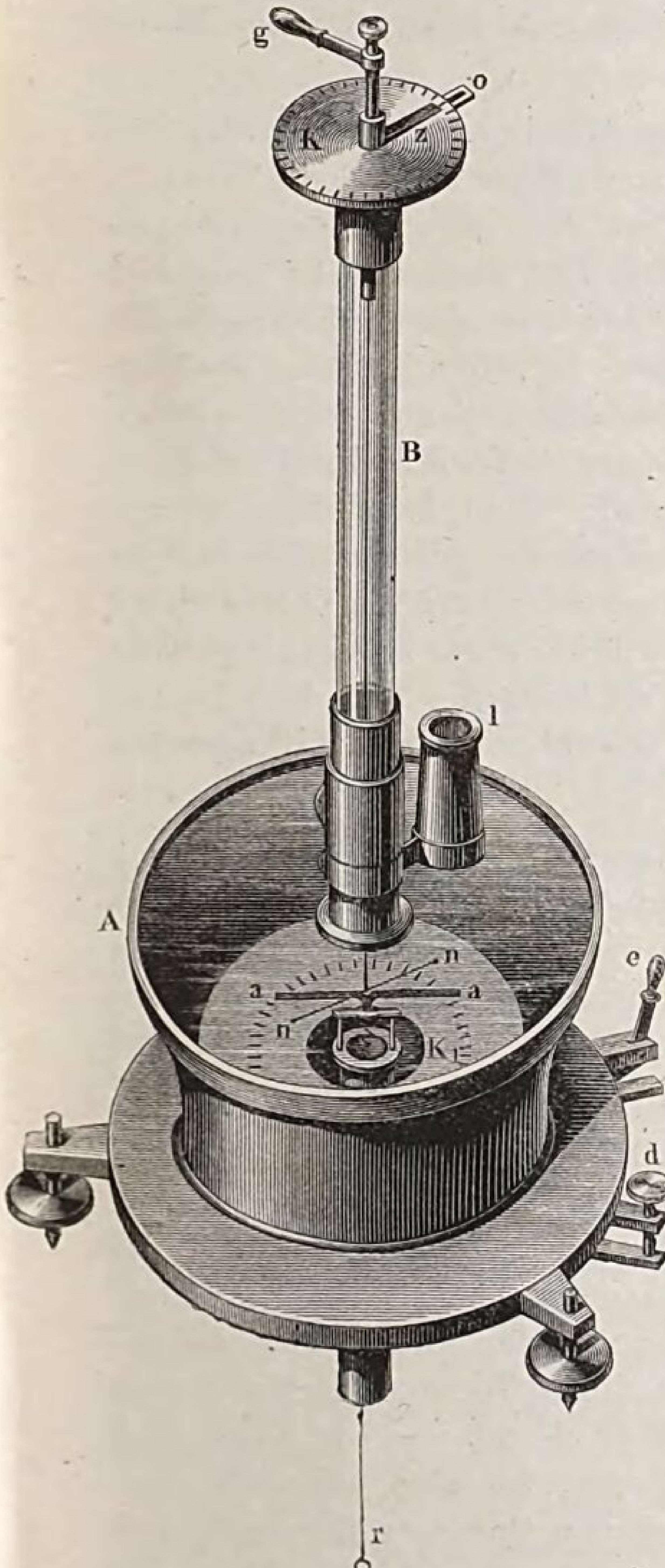
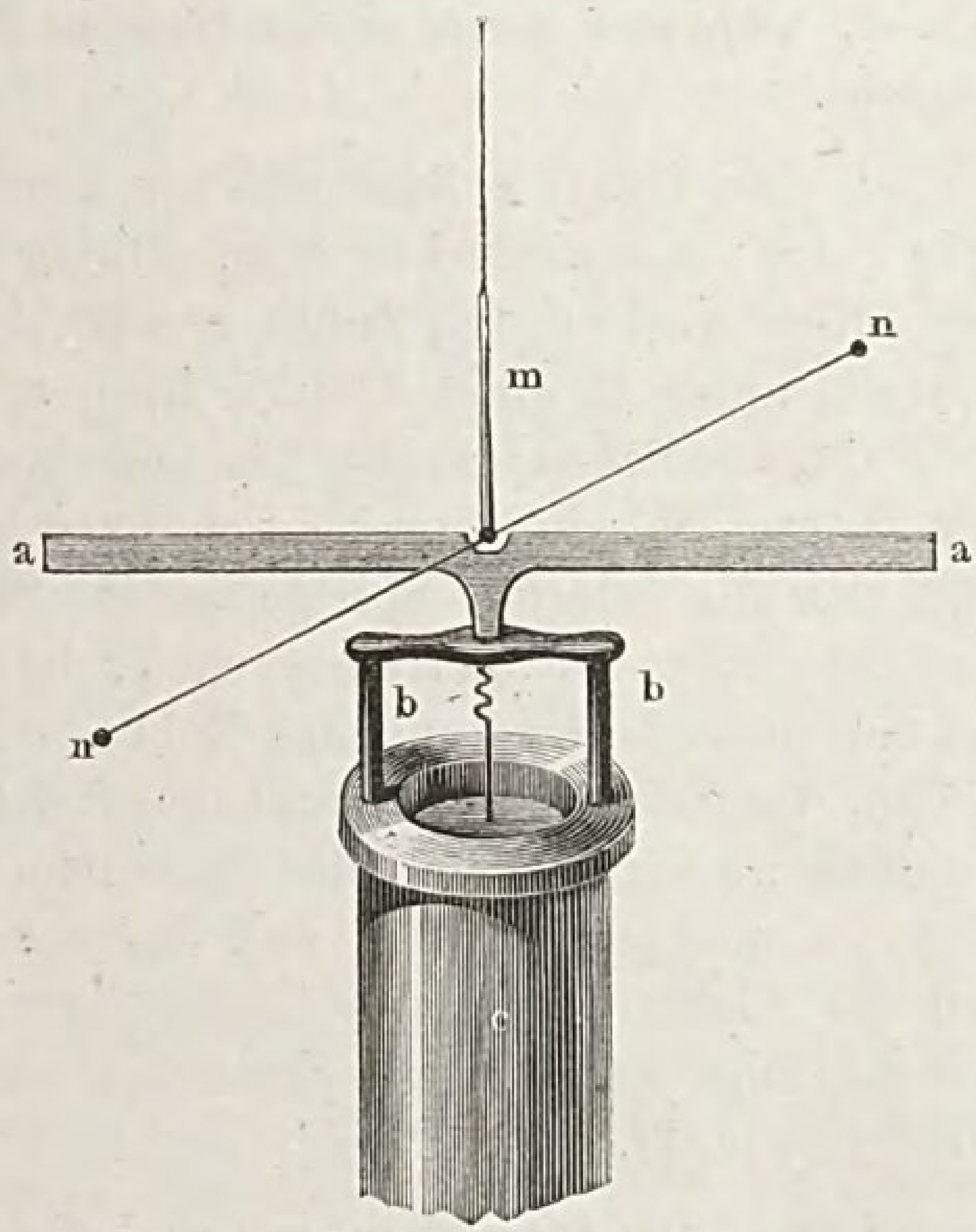


Fig. 121.



Glasfaden, dessen oberes Ende in der Axe eines durch den getheilten Kreis *K* gehenden, mit dem Zeiger *z* und dem Griff *g* versehenen Stahlcylinders befestigt ist. So lange der Glasfaden ohne Torsion ist, ist der Zeiger *z* mit der Nadel *nn* parallel. Die Theilung des Kreises *K* ist derjenigen entsprechend, welche auf dem unter der Nadel *nn* befindlichen Kreise angebracht ist, d. h. die gleichnamigen Theilstriche beider Kreise befinden sich stets in einer und derselben Verticalebene. Die Ablesung der Nadel *nn* geschieht von oben mit Hilfe des beweglichen Diopters *o* und der mit einer Marke versehenen Loupe *l*. In gleicher Höhe mit der Nadel *nn* befindet sich das Silberstreifchen *aa*. Wenn die Nadel sich ihrer ganzen Länge nach an die beiden Arme des Streifchens *aa* anlegt, so zeigt die Nadel (also auch, wenn das Instrument ohne Ladung ist, der Zeiger *z*) auf 0^0.

Das Silberstreifchen *aa* ist von zwei Schellacksäulchen *bb*, Fig. 121, getragen, welche auf dem oberen durch einen Ring verstärkten Rand des

Messingrohres c befestigt sind. Letzteres geht genau passend durch den Boden des Gehäuses A hindurch und kann durch einen Hebel mittelst der Schraube d, Fig. 120, innerhalb enger Gränzen auf- und niederbewegt werden. In seiner höchsten Stellung berührt das Streifchen die Nadel, während es in seiner tiefsten Stellung ungefähr 1·2 mm davon absteht.

In dem Rohre c lässt sich ein zweites Messingrohr mittelst des Hebels e auf- und niederbewegen. Dieses innere Rohr trägt den gleichfalls aus Silber verfertigten Zuleitungsdraht, welcher oben in eine federnde Spirale, unten in einen kleinen Ring r, Fig. 120, ausläuft. Er wird von zwei dünnen Schellackplättchen getragen, durch welche die beiden Enden des inneren Messingrohres geschlossen sind. In seiner höchsten Stellung legt sich die federnde Spirale an das Silberblättchen an, durch welches das Streifchen $a\,a$ getragen wird, in seiner tiefsten Stellung sinkt es unter den oberen Rand des Rohres c hinab. Man hat daher, um die Nadel, das Streifchen $a\,a$ und den Zuleitungsdraht mit einander in Verbindung zu bringen und das Instrument zu laden, nur die beiden Hebel d und e niederzudrücken, und das untere Ende r des Zuleitungsdrahtes mit der Elektricitätsquelle in Berührung zu bringen. Nachdem die Ladung erfolgt ist, wird das Streifchen $a\,a$ sowohl wie der Zuleitungsdraht wieder gesenkt.

Damit das Streifchen $a\,a$ und die Nadel $n\,n$ ein möglichst grosses Quantum der zu prüfenden Elektricität aufnehmen können, wird anfänglich der Zeiger z auf 90^0 gestellt, so dass die Nadel rechtwinklig zu dem Streifchen steht, und dann erst die Hebung des Streifchens $a\,a$ etc. vorgenommen.

Nachdem man dem Instrumente seine Ladung ertheilt und das Streifchen sowohl wie den Zuleitungsdraht wieder gesenkt hat, wird der Zeiger z in der Richtung gegen den Nullpunkt hin und dann noch um einen Winkel v über denselben hinausgedreht und dadurch der Winkel, welchen die Nadel mit dem Streifen $a\,a$ macht, auf eine bestimmte Grösse φ reducirt. Die Torsion des Fadens ist nun gleich $(v + \varphi)$, die Kraft, mit welcher der Faden vermöge dieser Torsion die Nadel dem Streifchen zu nähern strebt, ist also $T\,(v + \varphi)$. — Die Kraft, mit welcher sich Streifchen und Nadel abstossen, ist aber jedenfalls eine Function des Winkels φ und proportional dem Quadrate der Ladung e, also gleich $e^2 f\,(\varphi)$, wir haben also

$$e^2 f\,(\varphi) = T\,(v + \varphi).$$

Hat man nun nach vollständiger Entladung des Apparates demselben in gleicher Weise eine zweite Ladung e' beigebracht, so wird eine Drehung v' des Zeigers z nöthig sein, um die Nadel und Stäbchen abermals bis auf den Winkel φ zu nähern, wir haben also

$$e'^2 f\,(\varphi) = T\,(v' + \varphi),$$

mithin auch

$$\frac{e}{e'} = \frac{\sqrt{v + \varphi}}{\sqrt{v' + \varphi}}.$$

In den Elektrometern von Oersted und Peltier wird die bewegliche Nadel durch eine magnetische Stahlnadel gebildet, welche beim Oersted'schen Instrument an einem Coconfaden hängt, während sie beim Peltier'schen auf einer Stahlspitze spielt, welche in der Mitte des feststehenden Streifchens aufsitzt. Wenn das Instrument so aufgestellt ist, dass das Streifchen im magnetischen Meridian liegt, so wird die Magnetnadel sich ihrer ganzen Länge nach an das Streifchen anlegen, so lange der Apparat ohne Ladung ist, sie wird aber um so mehr aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, je stärker die ihm mitgetheilte elektrische Ladung ist.

Bei der Peltier'schen Einrichtung bleiben Nadel und Streifchen stets in metallischer Verbindung, weshalb dieselbe sehr geeignet ist, um die allmäligen Aenderungen der Ladung eines mit ihm verbundenen elektrisirten Körpers anzugeben.

Das zu sehr genauen Messungen geeignete Sinuselektrometer von R. Kohlrausch (Pogg. Annal. Bd. LXXXVIII) ist aus dem Peltier'schen Instrumente dadurch hervorgegangen, dass Kohlrausch auch den die Nadel abstossenden Metallstreifen um die verticale Axe des Instruments drehbar machte und die Ablesevorrichtung wesentlich verbesserte.

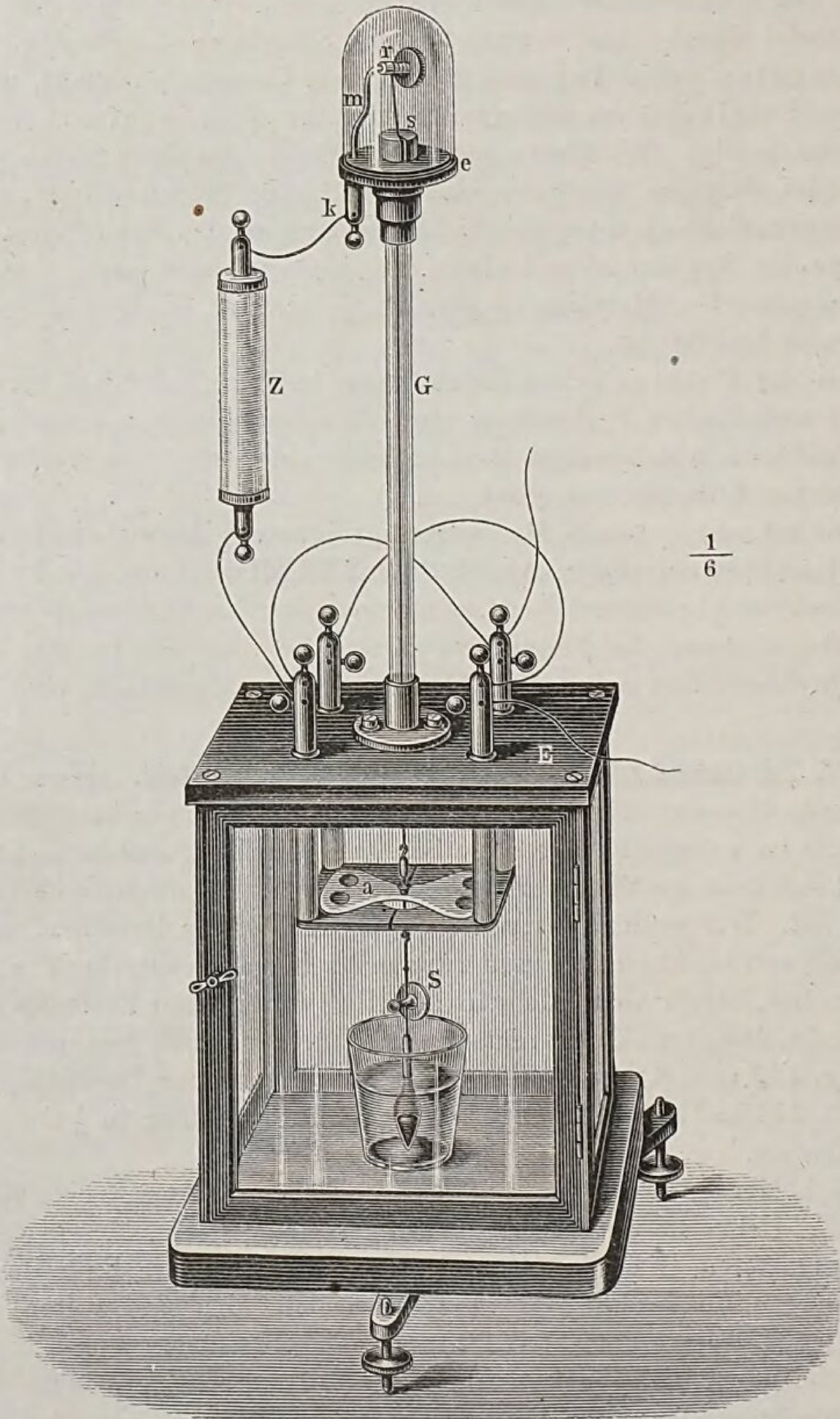
W. Thomson's Quadrantenelektrometer. Wenn es sich um genaue Messung sehr kleiner elektrischer Spannungen handelt, so genügen die im vorigen Paragraphen beschriebenen Instrumente nicht; man bedient sich dann noch feinerer Apparate, deren W. Thomson mehrere construirt hat. Wir wollen hier nur das gebräuchlichste derselben, nämlich das Quadrantenelektrometer, und zwar in der Form, welche ihm V. v. Lang gegeben hat, beschreiben, da wir dieselbe wegen ihrer Einfachheit und Uebersichtlichkeit zu Unterrichtszwecken für besonders geeignet halten. 46

Fig. 122 (a. f. S.) zeigt dieselbe in perspectivischer Darstellung, die Fig. 123, 124 und 125 (a. S. 135) Bestandtheile derselben in $\frac{1}{6}$ der natürlichen Grösse.

Ein hölzerner Glaskasten mit drei Stellschrauben trägt eine Ebonitplatte E. Ueber die durchbohrte Mitte derselben ist eine Messingfassung mit eingekittetem Glasrohr G geschraubt. An das obere Ende des letzteren ist eine Messinghülse gekittet, um welche sich eine weitere Hülse drehen lässt, welche eine kleine Ebonitscheibe e trägt. Durch eine am Rande derselben gelegene Durchbohrung derselben geht ein starker Messingdraht m, der unten in die Klemme k endigt und oben auf seiner horizontalen Fortsetzung eine kleine Messingwelle mit Ebonitrad r trägt. Auf diese Welle ist ein sehr feiner Platindraht aufgewunden, der am unteren Ende eine dünne Aluminiumplatte a von der Form einer 8

trägt; diese Platte kann demnach isolirt gehoben und gedreht werden. Die Centrirung des Drahtes wird durch einen Knopf mit Schlitz (Fig. 123)

Fig. 122.



s bewerkstelligt. Zur Vermeidung von Staub wird über den Rand der Ebonitscheibe e ein Glassturz gestülpt. Die Form der Aluminiumplatte

ist aus Fig. 124 zu ersehen. Sie soll möglichst dünn sein, was man durch Einlegen einer dickeren Platte in mässig verdünnte Salzsäure erreicht, welche das Aluminium ziemlich regelmässig auflöst. Die Aufhängung der Platte ist aus Fig. 125 ersichtlich. Unter die Platte kommt

Fig. 123.

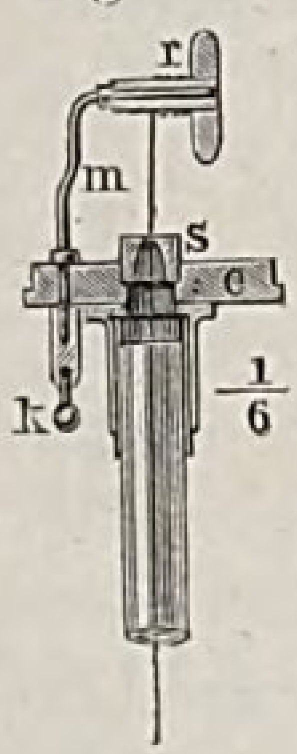


Fig. 124.

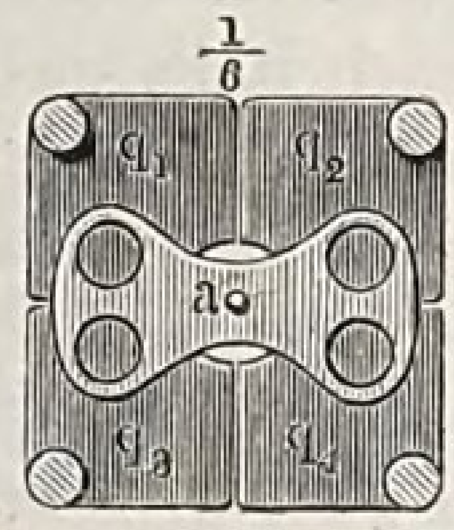
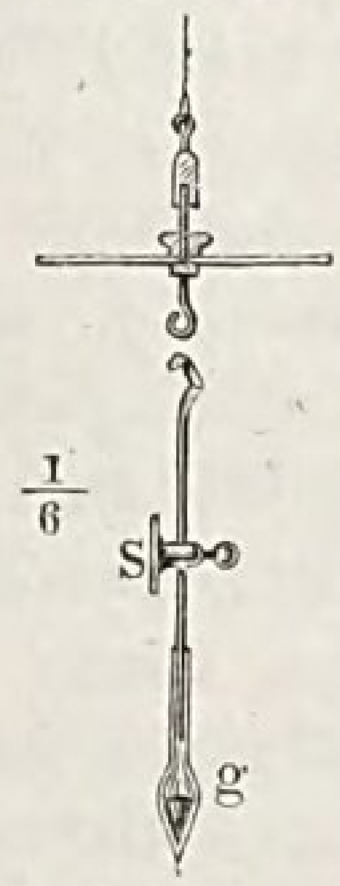


Fig. 125.



noch ein Messingstängelchen zu hängen, welches einen verticalen Planspiegel S und zu unterst einen hohlen Einsenkkörper aus Glas g trägt, welcher mit etwas Quecksilber beschwert ist und in ein Glasgefäss mit concentrirter Schwefelsäure taucht. Der Planspiegel dient zu Messungen mit Fernrohr und Scala; zu Projectionsversuchen wird er durch einen Hohlspiegel ersetzt. Die Schwefelsäure dient zur Trocknung des Raumes und zur Dämpfung der Schwingungen.

Die Aluminiumplatte spielt unmittelbar über vier Messingquadranten q_1, q_2, q_3, q_4 in Fig. 124, welche von eben so vielen Messingsäulchen getragen und an der Ebonitplatte befestigt sind. Die Messingsäulchen müssen in den Oeffnungen der Platte etwas Spielraum haben, damit die Quadranten genau gestellt werden können. Dasselbe gilt von der Fassung der Glasröhre, um den Draht genau centriren zu können. Die vier Quadranten bestehen aus ungefähr 2 mm dicken ebenen Messingplatten von quadratischer Form mit abgerundeten Ecken und Kanten. Die gegen die Mitte gerichtete Ecke jeder Platte ist in Form eines Kreissegmentes ausgeschnitten. Die Messingplatten liegen genau in einer Horizontalebene und sind durch Schlitze von ungefähr 1·5 mm Breite von einander getrennt.

Durch zwei in die Klemmen der 4 Säulchen über Kreuz eingespannte Drähte werden die übers Eck gegenüberstehenden Quadranten dauernd mit einander in leitende Verbindung gesetzt.

Zum Versuche wird nun in der Regel der Aluminiumplatte eine bestimmte geringe elektrische Ladung ertheilt, ein Quadrantenpaar mit der zu messenden Elektricitätsquelle verbunden und das andere Quadrantenpaar mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt. Zur Ladung der Aluminiumplatte kann man sich einer grösseren Zamboni'schen Säule Z (welche später beschrieben werden wird) bedienen, deren einen Pol man

zur Erde ableitet, während man den anderen Pol mit der Klemme k in Verbindung bringt. (Siehe Fig. 122.)

Die Wirkungsweise des Apparates ist leicht zu übersehen. Wenn die Aluminiumplatte A (Fig. 124) z. B. positive Ladung erhalten, und bei Nichtladung beider Quadrantenpaare eine solche Gleichgewichtslage angenommen hat, welche zu einem der Schlitze symmetrisch ist (wie die Fig. 124 zeigt), so wird bei positiver Ladung von q_1 und q_4 die Platte von diesen abgestossen, also nach links gedreht. Bei negativer Ladung der Quadranten q_1 und q_4 dagegen wird sie von diesen angezogen und daher nach rechts gedreht. Bei sehr schwachen Ladungen und kleinen Ablenkungswinkeln sind die Ausschläge den Ladungen proportional zu setzen. Bei nicht sehr schwachen Ladungen gilt diese Proportionalität nicht mehr, ja es bringen dann, wie Maxwell gezeigt hat, gleich grosse entgegengesetzte Ladungen der Quadranten ungleich grosse Ausschläge nach entgegengesetzten Richtungen hervor. In diesem Falle ist eine empirische Graduirung erforderlich. Das Instrument eignet sich also vorzugsweise zu sehr feinen Messungen äusserst geringer Elektricitätsspannungen.

Das Thomson'sche Originalinstrument ist viel complicirter eingerichtet als das beschriebene. Zunächst bildet das Glasgehäuse selbst eine Leydener Flasche, welche geladen wird, und deren innere freie Elektricität durch die Schwefelsäure auf den Einsenkkörper von Platin und durch diesen auf die Aluminiumplatte übertragen wird. Die Quadranten sind Hohlkörper und umschliessen die Aluminiumplatte von oben und unten. Die Directionskraft wird durch einen mit dem Spiegel verbundenen und einen äusseren Magnet oder durch Bifilaraufhängung herbeigeführt; endlich sind noch besondere Vorrichtungen vorhanden, um die constante innere Ladung herzustellen und zu controliren. Man findet hierüber Näheres in „*Reprint of papers on electrostatics and magnetism by Sir William Thomson*, *London* 1872, *p.* 262.

Edelmann in München hat ein Quadrantenelektrometer construirt, bei welchem an Stelle der ebenen Quadranten und der ebenen Aluminiumplatte solche in Form von cylindrischen Flächen in Anwendung kommen.

47 **Sitz der elektrischen Ladung.** So lange ein Körper sich im natürlichen Zustande befindet, können wir uns vorstellen, dass die beiden Elektricitäten ganz gleichförmig in der ganzen Masse der Körper vertheilt seien. Sobald aber einem isolirten Leiter freie Elektricität mitgetheilt wird, so werden sich die einzelnen Theilchen dieser Elektricität vermöge ihrer gegenseitigen Abstossung möglichst weit von einander zu entfernen streben; die elektrische Ladung kann deshalb nicht in das Innere des Leiters eindringen, sondern sie muss sich auf der Oberfläche desselben verbreiten; hier aber wird ein weiteres Auseinanderweichen der sich abstossenden elektrischen Partikelchen durch die

Luft und die anderen Isolatoren verhindert, welche den Leiter von allen Seiten umgeben.

Dass die freie Elektricität sich in der That nur auf der Oberfläche der Leiter und nicht im Inneren derselben verbreitet, beweisen folgende Versuche:

1) Man elektrisire zwei vollkommen gleiche, isolirte, metallene Kugeln *a* und *b*, während sie mit einander in Berührung sind, so wird sich die Elektricität gleichförmig über beide verbreiten. Man trenne sie nun, berühre die Kugel *a* mit einer isolirten Hohlkugel, *b* mit einer ebenso grossen isolirten massiven Kugel, so wird man mit Hilfe des Probescheibchens finden, dass *a* und *b* gleichviel Elektricität verloren haben, die massive Kugel hat also nicht mehr Elektricität weggenommen, als die gleich grosse Hohlkugel.

2) Eine isolirte Kugel von Messingblech, welche oben mit einer Oeffnung versehen ist, wie man Fig. 126 im Durchschnitt sieht, werde durch einen Funken der Elektrisirmaschine geladen. Berührt man nun die äussere Fläche der Kugel an irgend einer Stelle mit dem Probescheibchen, so nimmt es eine elektrische Ladung an, wie man mit Hilfe eines Elektroskopes zeigen kann. Berührt man aber mit dem Probescheibchen, indem man es durch die Oeffnung der Hohlkugel in das Innere derselben einführt, eine beliebige Stelle der inneren Kugelfläche, so zeigt es sich nach dem Herausziehen aus der Kugel unelektrisch, vorausgesetzt, dass man bei dieser Operation die Berührung des Probescheibchens mit den Rändern der Oeffnung vermieden hat.

Wenn dieser Versuch gelingen soll, muss das Stäbchen, an welchem das Probescheibchen befestigt ist, vollkommen isolirend sein. Ausserdem ist es gut, wenn der Rand der Kugelöffnung mit einem Ringe von Schellack eingefasst ist.

Fig. 126.

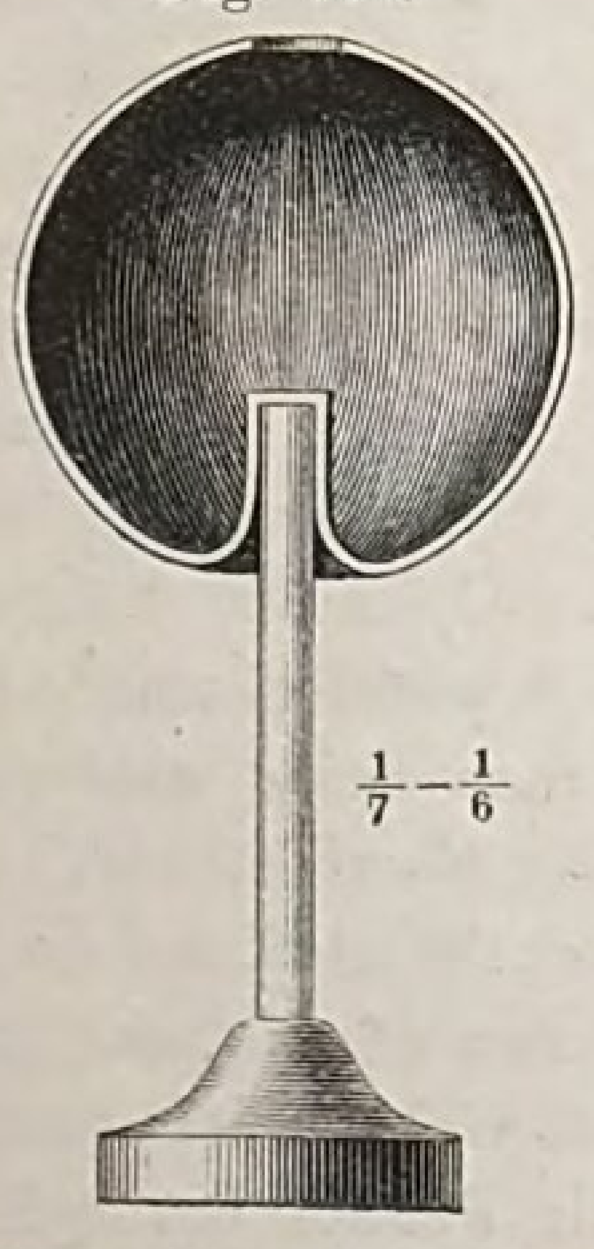


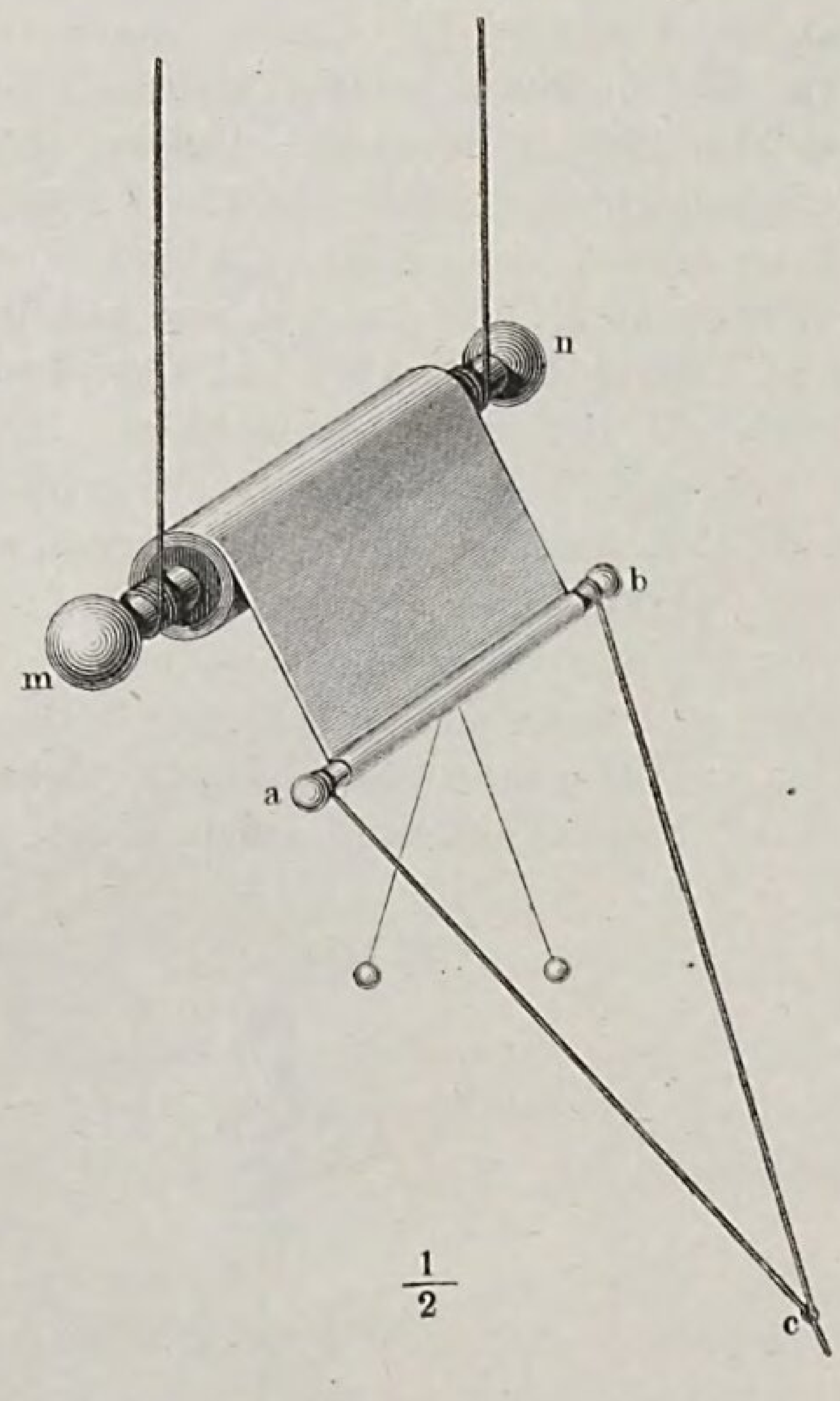
Fig. 127.



3) Faraday hat diesen Versuch auf eine sinnreiche Weise abgeändert. Auf einen isolirenden Glasfuss, Fig. 127, ist ein Metallring auf-

gesteckt, an welchem ein conischer Sack von Baumwollengaze, ähnlich einem Schmetterlingsnetz, befestigt ist. Mittelst eines seidenen Fadens, welcher in der Spitze des Kegels festgenäht ist, kann man den Beutel umwenden. Wenn man dem Apparat eine elektrische Ladung mitgetheilt hat, so findet man mit dem Probescheibchen, dass nur die äussere Fläche elektrisch ist. Wendet man nun den Beutel mittelst der Seidenschnur um, so dass die bisher innere Fläche die äussere wird, so findet man, dass die beiden Oberflächen mit ihrer Lage auch ihre Ladung vertauscht haben, dass sich abermals die elektrische Ladung nur auf der äusseren Oberfläche befindet.

Fig. 128.



4) Ein Metallcylinder *m n*, auf beiden Seiten mit etwas dünneren, in Knöpfen endigenden Fortsätzen versehen, hängt, wie Fig. 128 zeigt, an zwei seidenen Schnüren. Auf den mittleren dickeren Theil dieses Cylinders ist seiner ganzen Breite nach ein ungefähr 30 cm langer Streifen von Goldpapier aufgeklebt, dessen freies Ende an ein Glasstäbchen *a b* befestigt ist. Dieser Goldpapierstreifen ist mehrmals um den Metallcylinder herumgewickelt. Zieht man an den Schnüren *c a* und *c b*, so wird sich der Papierstreifen von dem Cylinder abwickeln, während dadurch gleichzeitig die Schnüre, an denen der Cylinder hängt, aufgewunden werden, wodurch der Cylinder selbst gehoben wird. Lässt man bei *c* wieder nach, so sinkt der Metallcylinder von selbst durch sein Gewicht herab, wodurch dann der Goldpapierstreifen wieder aufgewickelt wird.

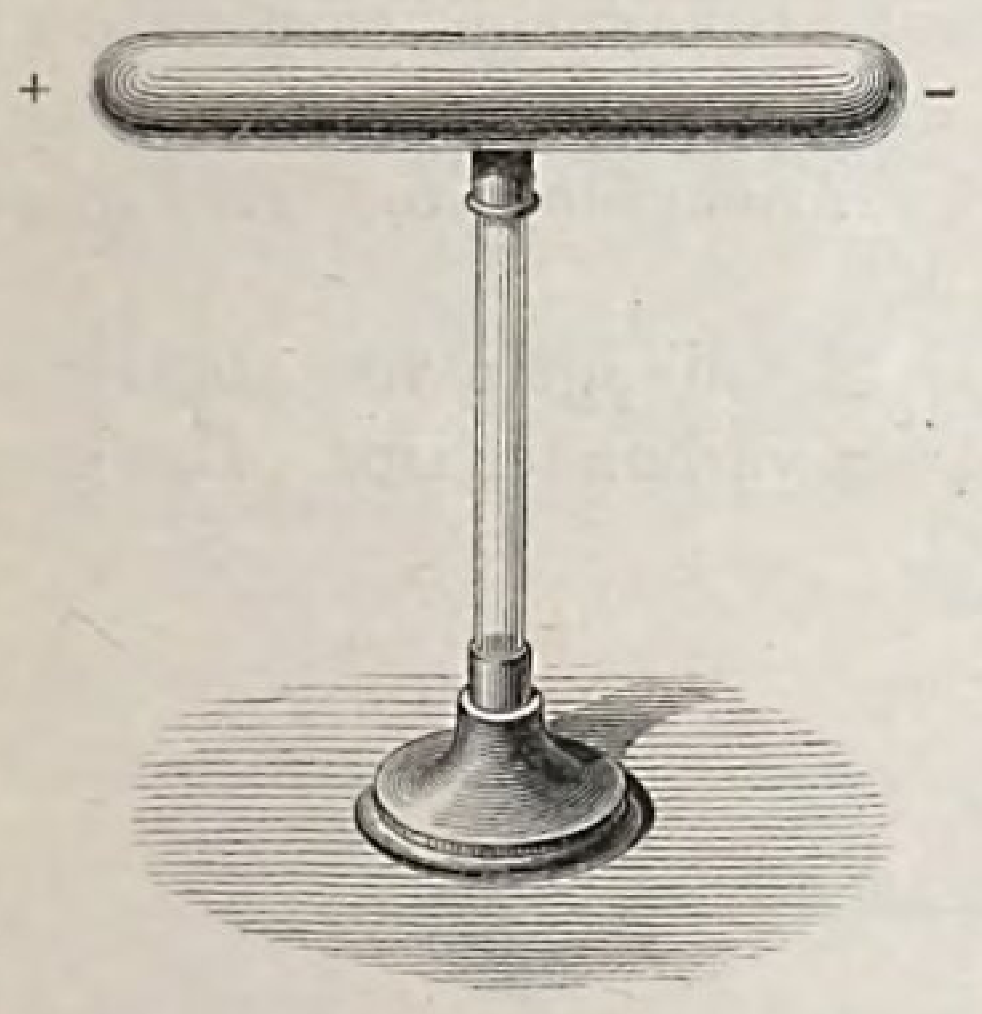
In der Mitte von *a b* hängt ein elektrisches Pendelpaar, Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden. Ist das Goldpapier ganz auf den Messingcylinder aufgewickelt, so werden die Pendel divergiren, wenn man dem Apparat eine elektrische Ladung ertheilt. Zieht man jetzt bei *c*, so dass der Streifen abgewickelt wird, so vermindert sich die Diver-

genz der Pendel, weil sich jetzt die Elektricität auf einer grösseren Oberfläche verbreitet. Lässt man bei c nach, so wird die metallische Oberfläche durch das Aufwickeln des Streifens wieder verkleinert und die Pendel gehen wieder mehr aus einander.

Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche isolirter Leiter. 48 Die Art und Weise, wie sich eine elektrische Ladung auf der Oberfläche eines isolirten Leiters vertheilt, hängt von der Gestalt desselben ab.

Elektrisirt man eine isolirte Kugel, so erfordert schon das Gesetz der Symmetrie, dass sich die Elektricität auf der ganzen Oberfläche gleichförmig verbreitet, dass sie eine Schicht bildet, welche überall gleiche Dichtigkeit hat. Aber auch durch den Versuch kann man sich davon überzeugen, dass es wirklich so ist. Berührt man nämlich die elektrisirte Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen in der Weise, dass dasselbe glatt anliegt, so bildet dasselbe hier gleichsam ein Element der Kugeloberfläche und es verbreitet sich auf dem Probescheibchen gerade so viel Elektricität, als sich auf dem bedeckten Kugelstücke befand; hebt man nun das Scheibchen ab, so kann man die Stärke seiner elektrischen Ladung mit Hilfe der Drehwage bestimmen. An welcher Seite der Kugel man aber auch das Probescheibchen aufsetzen mag, überall erhält es eine gleich starke Ladung.

Fig. 129.



Anstatt die Stärke der Ladung, welche das Probescheibchen annimmt, mit der Drehwage zu messen, kann man auch ein Strohhalmelektrometer anwenden, und aus der Divergenz der Pendel, welche man erhält, wenn man den Knopf oder die Platte des Elektrometers mit dem Probescheibchen berührt, auf die Stärke seiner Ladung schliessen.

Wenn der isolirte Leiter, den man elektrisirt, nicht kugelförmig ist, so findet auch keine gleichmässige Vertheilung der Elektricität statt, d. h. die elektrische Schicht, welche sich über den Körper verbreitet, hat nicht überall gleiche Dichtigkeit. So fand z. B. Coulomb, als er mit Hilfe des Probescheibchens die Stärke der elektrischen Ladung an verschiedenen Stellen eines metallischen, an beiden Enden kugelförmig abgerundeten isolirten Cylinders, Fig. 129, von 20 cm Länge und 5 cm Durchmesser untersuchte:

die Ladung	1	in der Mitte	
„ „	1·25	5	cm vom Ende
„ „	1·80	2·5	„ „ „
„ „	2·30	am Ende selbst.	

Von der Mitte ausgehend, ändert sich also anfangs die Intensität nur wenig, nimmt aber nahe an den Enden in einem raschen Verhältnisse zu.

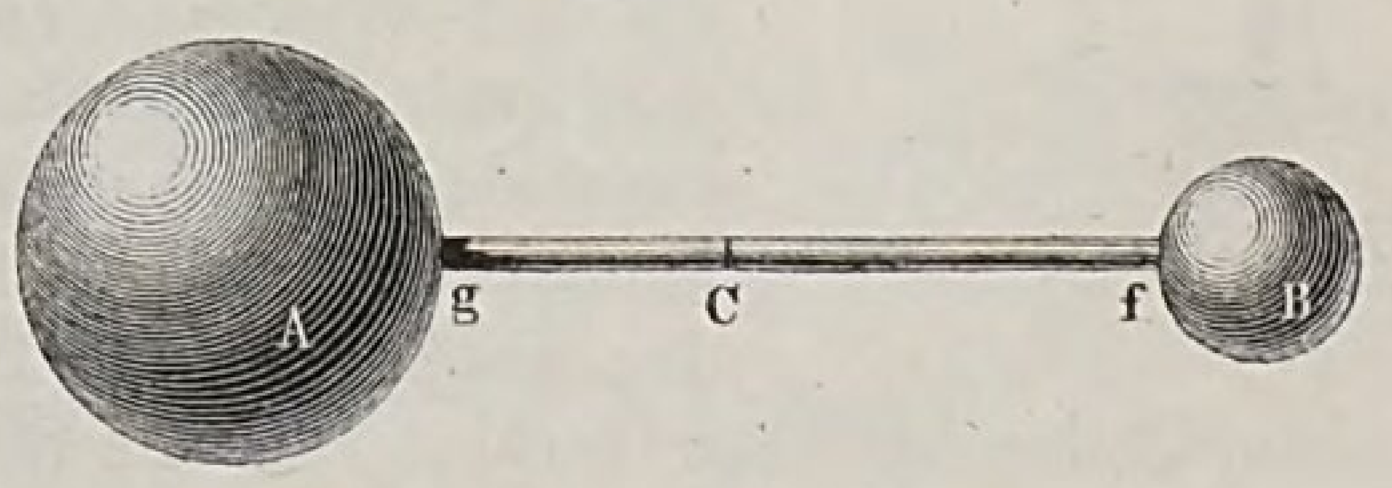
An einer isolirten, kreisförmigen metallischen Scheibe von 20 cm Durchmesser und 2 cm Dicke fand Coulomb die elektrische Ladung

in der Mitte	1
2·7 cm vom Rande	1·5
am Rande selbst	2·9

Poisson hat die Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche isolirter Leiter zum Gegenstand mathematischer Untersuchungen gemacht, mit deren Resultaten die Coulomb'schen Versuche genügend harmoniren. Die Grundlage seiner Theorie bildet der Satz, dass sich die elektrischen Anziehungen und Abstossungen direct wie die Elektricitätsmengen und umgekehrt wie das Quadrat ihrer Entfernung verhalten. Ohne weiter auf die Besprechung der Poisson'schen Formeln einzugehen, deren Entwickelung einen ziemlichen Aufwand an höherer Rechnung erfordert, wollen wir uns darauf beschränken, anschaulich zu machen, warum auf den hervorragenden Partien eines isolirten und elektrisirten Leiters eine vorzugsweise starke Anhäufung von Elektricität stattfinden muss.

Es seien A und B, Fig. 130, zwei Metallkugeln von ungleichem Durchmesser, welche durch einen Metalldraht verbunden sind. Das ganze

Fig. 130.



System sei isolirt und demselben eine Ladung positiver oder negativer Elektricität mitgetheilt, so wird nur dann ein Gleichgewichtszustand dieser elektrischen Ladung stattfinden, wenn ein elektrisches Partikelchen an irgend einer Stelle des Verbindungsdrahtes, etwa ein elektrisches Partikelchen bei C, von Seiten der Kugel A eben so stark abgestossen wird, wie von Seiten der Kugel B. Nehmen wir an, der Punkt C liege in der Mitte zwischen den Mittelpunkten der Kugeln A und B, so wird bei genügender Länge des Verbindungsdrahtes für den Fall des Gleichgewichts, die Gesammtmenge der Elektricität, welche über die Oberfläche der Kugel A verbreitet ist, nahezu eben so gross sein müssen, wie die über B verbreitete. Daraus folgt aber, dass die Dichtigkeit der Elek-

tricität auf *B* n^2 mal so gross sein müsse als die auf *A*, wenn der Durchmesser der Kugel *A* *n* mal grösser ist als der der Kugel *B*.

Wäre z. B. der Durchmesser der Kugel *B* 2 cm, der der Kugel *A* 8 cm, so würde (wenn die Mittelpunkte der beiden Kugeln nicht unter 25 cm von einander entfernt sind) die Dichtigkeit der Elektricität auf der kleinen Kugel ungefähr 16 mal grösser sein als auf der grossen.

Wir haben bei dieser Betrachtung die Elektricität vernachlässigt, welche über den die beiden Kugeln verbindenden Draht verbreitet ist. Es ist dies nur so lange zulässig, als auch der Durchmesser der kleineren Kugel *B* noch bedeutend ist gegen den des Drahtes. — Jedenfalls ist klar, dass die Dichtigkeit auf der Kugel *B* um so mehr wachsen muss, je kleiner ihr Durchmesser wird. Denken wir uns dieselbe endlich ganz entfernt, so muss die Wirkung, welche die über das Drahtstück *Cf* verbreitete Elektricität auf ein elektrisches Partikelchen in *C* ausübt, derjenigen das Gleichgewicht halten, welche von der über die ganze Kugel *A* und das Drahtstück *Cg* verbreiteten ausgeht; es ist also klar, dass auf der kleinen Oberfläche des Drahtstücks *Cf* eine bedeutende und zwar gegen *f* hin wachsende Anhäufung von Elektricität stattfinden muss.

Elektrische Wirkung der Spitzen und Flammen. Es 49
geht aus den Betrachtungen des vorigen Paragraphen hervor, dass, wenn man an einem isolirten Leiter eine Spitze anbringt, die Elektricität an dieser Spitze eine ausserordentliche Dichtigkeit haben muss. Je dichter aber die Elektricität in einem Punkte ist, desto eher wird sie den Widerstand der Luft, welche sie auf dem Körper zurückzuhalten strebt, überwinden können. Daher kommt es, dass aus Spitzen die Elektricität so leicht ausströmt, wie es auch die folgenden Versuche bestätigen.

1. Wenn man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einer Spitze versieht, so ist es unmöglich, den Conductor so zu laden, dass man aus ihm kräftige Funken ziehen könnte. Alle durch die Umdrehung der Maschine erzeugte Elektricität entweicht alsbald durch die Spitze.

2. Wenn man eine Spitze, die mit dem Boden in leitender Verbindung steht, dem Conductor der Maschine bis auf einige Decimeter nähert, so ist es gleichfalls unmöglich, ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, sie stösst die gleichnamige ab, und zieht die ungleichnamige an; diese ungleichnamige Elektricität häuft sich in der Spitze so stark an, dass sie nach dem Conductor überströmt, um seine Elektricität zu neutralisiren.

Sehr schön lässt sich die elektrische Wirkung der Spitzen durch den Apparat Fig. 131 (S. 143) darstellen. Am unteren Ende des oben zugespitzten Messingdrahtes *cd* ist eine hohle Messingkugel *c* befestigt, welche 2 bis 3 cm Durchmesser hat. Dieser Draht steckt in einer federnden Hülse, welche durch die gläserne Säule *a* getragen wird. In demselben Brettchen, in welchem die Glassäule *a* befestigt ist, steckt auch ein kurzer Messing-

stift, welcher eine zweite, der oberen gerade gegenüberstehende Metallkugel *f* trägt.

Wird *f* durch Anhängen einer Metallkette mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt, und die Spitze *c* dem Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine genähert, so kann man auf demselben keine merkliche Ladung hervorbringen. Schiebt man den Draht *cd* so weit herab, dass die Kugeln *e* und *f* sich berühren, so findet ein continuirliches Wegströmen der vom Conductor abgestossenen Elektricität in den Boden und ein ebenso beständiges Ausströmen der von ihm angezogenen Elektricität aus der Spitze zum Conductor statt. — Sobald man aber den Draht *cd* etwas in die Höhe zieht, so dass ein Zwischenraum zwischen den Kugeln *e* und *f* ist, so findet zwar noch ein beständiges Ausströmen von der Spitze *c* nach dem Conductor statt, die abgestossene Elektricität wird aber in der Kugel *e* angehäuft, bis sie eine hinlängliche Dichtigkeit erlangt, um ein Ueberschlagen von Funken zwischen *e* und *f* zu bewirken. Die Funken folgen um so langsamer, sie sind aber auch um so kräftiger, je weiter die Kugeln *e* und *f* von einander abstehen.

Winkel und scharfe Kanten, die sich an leitenden Körpern befinden, wirken ganz auf dieselbe Weise wie die Spitzen. Man muss deshalb sorgfältig alle eckigen Formen vermeiden, wenn man Apparate construiren will, welche bestimmt sind, die Elektricität zu halten.

Wenn man einer auf dem Conductor der Elektrisirmaschine aufgesetzten Metallspitze die Hand nähert, während die Maschine gedreht wird, so fühlt man den von der Spitze ausströmenden elektrischen Wind, welcher ohne Zweifel daher rührt, dass der isolirende Widerstand der Lufttheilchen, welche die Spitze umhüllen, bei der grossen Dichtigkeit der hier angehäuften Elektricität nicht mehr genügend ist. Ein Theil der elektrischen Ladung geht auf die benachbarten Lufttheilchen über, welche alsdann von der gleichnamig geladenen Spitze lebhaft abgestossen werden.

Man kann den elektrischen Wind dadurch sichtbar machen, dass man der Spitze, von welcher er ausgeht, eine Kerzenflamme nähert.

Wenn die elektrische Spitze selbst beweglich ist, so muss sie sich, vermöge der zwischen ihr und den abströmenden Lufttheilchen stattfindenden Abstossung, selbst bewegen und zwar in einer dem elektrischen Winde entgegengesetzten Richtung. Darauf beruht die Drehung des elektrischen Flugrades, Fig. 132, welche der Rotation des Segner'schen Wasserrades ganz analog ist. Auf eine Stahlspitze, welche mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitender Verbindung steht, ist ein aus Metalldrähten gebildetes, leicht in horizontaler Ebene umdrehbares Rädchen aufgesetzt. Die zugespitzten Enden der Drähte sind, von der Mitte aus gesehen, alle nach derselben Richtung umgebogen. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad zu rotiren, und zwar in solcher Richtung, dass die Spitzen zurückweichen.

Eine Flamme wirkt in elektrischer Beziehung ganz wie eine Spitze, nur noch weit kräftiger. In der That lässt sich die elektrische Wirkung

Fig. 131.

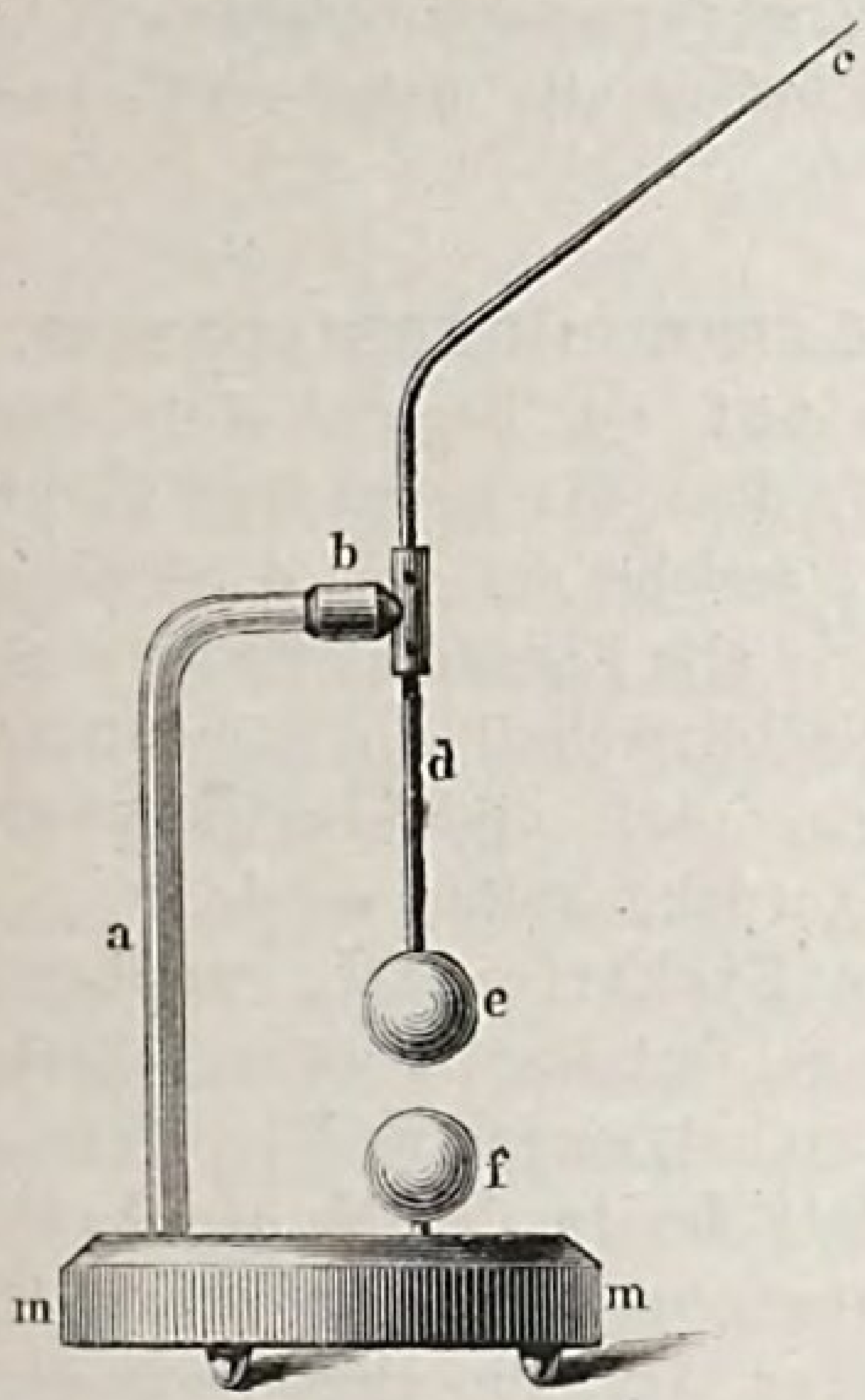
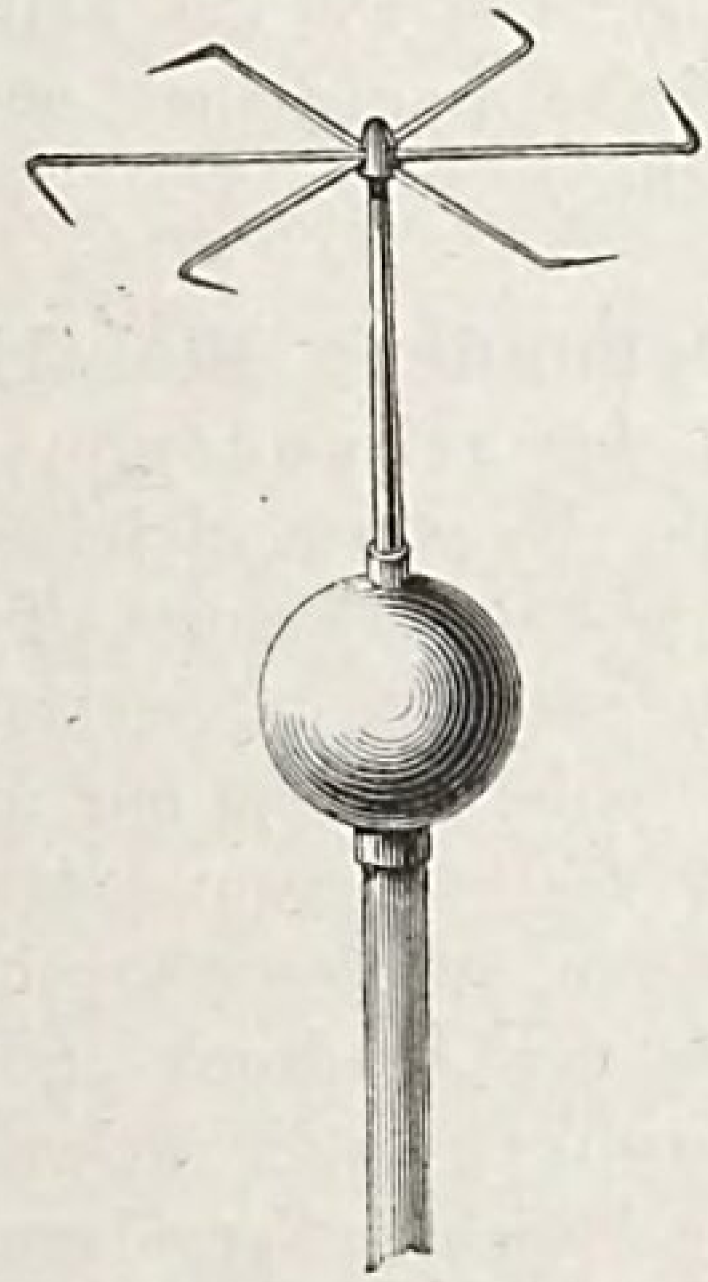


Fig. 132.



der Flammen kurz so charakterisiren: Wenn ein elektrisirter Leiter mit einer Flamme versehen wird, so verliert er alsbald seine Elektricität, indem dieselbe durch die Flamme wie durch eine auf dem elektrisirten Leiter angebrachte Spitze ausströmt; bringt man dagegen eine Flamme in die Nähe eines elektrischen Körpers, so saugt sie die Elektricität gleichsam ein, wie dies auch, wenn gleich in weit geringerem Maasse, eine metallische Spitze thut. Setzt man eine Flamme auf den Knopf einer Leydener Flasche, welche in der Nähe einer gedrehten Elektrisirmaschine steht, so ladet sich die Flasche, als ob man den Knopf derselben mit dem Conductor derselben verbunden hätte. — Volta brachte brennenden Schwamm an seinen Elektroskopen an, um gleichsam die Luftelektricität einzusaugen.

Schon Gilbert und Kircher kannten die elektrische Wirkung der Flammen; Priestley bewies durch Versuche, dass die Flamme die Elektricität leite, und Volta verglich zuerst die elektrische Wirkung der Flammen mit der Wirkung metallischer Spitzen; doch waren seine Ansichten über die Wirkung der Spitzen selbst zum Theil irrig, indem er glaubte, dass das Ausströmen der Elektricität sowohl wie das Einsaugen derselben eine Folge des elektrischen Windes sei. Riess aber, welcher die Wirkung der Flammen auf das Vollständigste studirt hat (siehe Pogg. Ann. Bd. LXI, und Riess „die Lehre von der Reibungselektricität“), wies nach, dass die elektrische Wirkung der Flammen auch unter solchen Umständen eintritt, wo die Anhäufung der Elek-

tricität viel zu gering ist, um einen elektrischen Wind veranlassen zu können.

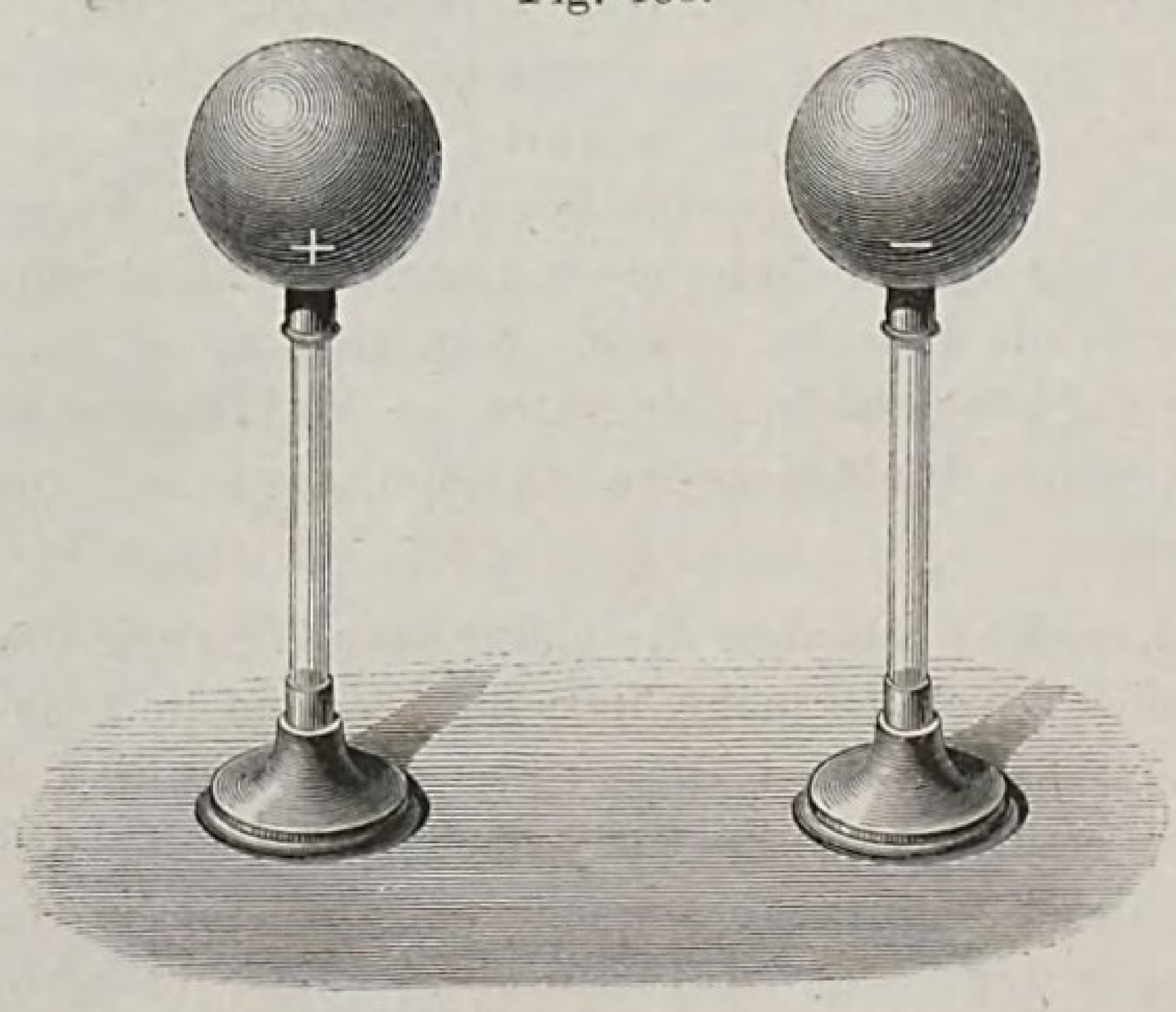
Die eben besprochene Wirkung der Flammen erklärt sich durch den Umstand, dass von der Flamme aus gewissermaassen elektrisch leitende Dampfspitzen aufsteigen, welche an Feinheit alle metallene Spitzen weit übertreffen.

50 **Gebundene Elektricität, Ansammlungsapparate.** Das Wesen der gebundenen Elektricität ist bereits oben dargelegt worden. Es wurde daselbst erwähnt, dass die gebundene Elektricität durchaus keine Eigenschaften besitze, welche sie von der freien Elektricität specifisch unterschiede, dass sie alle Eigenschaften der gewöhnlichen theile, dass sie nur durch die Nachbarschaft einer Quantität Elektricität des entgegengesetzten Zeichens nach einer bestimmten Stelle hingezogen, an dieser angehäuft und zurückgehalten werde.

Da der Ausdruck „gebundene Elektricität", welcher durch Lichtenberg in die Wissenschaft eingeführt wurde, zu mancherlei verkehrten Ansichten Veranlassung gegeben hat, so schlug Riess vor, diesen Ausdruck ganz zu vermeiden und statt dessen den Namen Influenzelektricität einzuführen. Die angezogene entgegengesetzte Elektricität wird als Influenzelektricität erster Art, die abgestossene gleichnamige als solche zweiter Art bezeichnet.

Wenn man zwei isolirte Leiter, etwa zwei isolirte Messingkugeln, Fig. 133, so neben einander aufstellt, dass sie noch durch eine Luftschicht von einander getrennt sind und dann die eine mit positiver, die andere mit negativer Elektricität ladet, so kann man abwechselnd die eine und dann wieder die andere mit dem Boden in leitende Verbindung bringen, ohne dass alle Elektricität abgeleitet wird. Die Elektricität auf der einen Kugel wird nämlich durch die entgegengesetzte Elektricität auf der anderen angezogen, sie ist wenigstens zum Theil gebunden und kann deshalb nicht entfernt werden. Je näher die beiden Elektricitäten einander gebracht werden, desto stärker ziehen sie sich an, desto vollständiger ist also auch ihre gegenseitige Bindung; wenn aber die beiden Leiter nur durch eine Luftschicht getrennt sind, so kann

Fig. 133.



man sie bei einigermaassen starker Ladung nicht sehr nähern, ohne dass die Luftschicht durchbrochen wird und ein Funke überspringt. Ueberdies wäre die Form des Apparates grösseren Anhäufungen nicht günstig, da sich die Elektricitäten an den genäherten Stellen der Kugeln zu hoher Spannung anhäufen müssten. Es ist demnach zweckmässiger, die beiden Leiter in Form paralleler Flächen einander gegenüber zu stellen und den Zwischenraum durch feste Isolatoren, wie Glas oder Harz, auszufüllen.

Jeder solche Apparat, welcher nach diesem Princip eine grössere Menge der sich gegenseitig bindenden Elektricitäten anzusammeln gestattet, wird ein Ansammlungsapparat (Verstärkungsapparat) oder auch ein Condensator genannt. In der Regel bezeichnet man jedoch mit letzterem Namen eine besondere Form des Ansammlungsapparates.

Die Ansammlungsapparate zerfallen nämlich in zwei Gruppen. Die der ersten Gruppe sind derartig construirt, dass die beiden Leiter ein für allemal fest mit dem dazwischen liegenden Isolator verbunden sind. Hierher gehört die Franklin'sche Tafel und die Leydener Flasche. Die Ansammlungsapparate der zweiten Gruppe gestatten eine Trennung und gegenseitige Entfernung der beiden Leiter. Hierher gehört Volta's Firnisscondensator und Kohlrausch's Luftcondensator. Die Apparate der ersten Gruppe werden benutzt, um grosse Elektricitätsmengen anzusammeln und zu entladen, man könnte sie daher speciell als Ladungsapparate unterscheiden. Die Apparate der zweiten Gruppe werden meist nur zur Ansammlung sehr kleiner Elektricitätsmengen gebraucht und Condensatoren im engeren Sinne genannt.

Die Franklin'sche Tafel. — Fig. 134 (a. f. S.). Dieselbe be- 51
steht aus einer Glastafel, deren beide Seiten mit Stanniol oder Silberpapier belegt sind, so dass noch ein Rand von ca. 8 cm Breite frei bleibt.

Um die unbelegten Stellen des Glases besser isolirend zu machen, kann man sie mit Firniss überstreichen. Wenn man nun die vordere Belegung mit positiver, die hintere mit negativer Elektricität ladet, so sind die beiden entgegengesetzten Elektricitäten einander sehr nahe, sie sind nur durch eine Glasscheibe getrennt, die sie jedoch nicht zu durchbrechen im Stande sind; die Bindung wird also hier ziemlich vollständig stattfinden.

Um die beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel mit den entgegengesetzten Elektricitäten zu laden, hat man nicht nöthig, jede mit einer Elektricitätsquelle in Verbindung zu bringen. Man bringe die eine Belegung, etwa die vordere, mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung, so wird ein Theil $+ E$ vom Conductor auf die Belegung übergehen. Die Elektricität auf der vorderen Belegung wirkt vertheilend auf die verbundenen Elektricitäten der hinteren; sobald man diese mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, strömt die $+ E$ in den Boden über und die $- E$ verbreitet sich auf der hin-

teren Belegung. Die — E auf der hinteren Belegung wirkt aber bindend auf die + E der vorderen zurück, und dadurch wird es möglich, dass von Neuem Elektricität vom Conductor aus auf die vordere Belegung übergeht, die auch durch ihre vertheilende Kraft wieder die — E auf der hinteren Belegung vermehrt. Man kann auf diese Weise leicht die eine Belegung mit + E, die andere mit — E laden.

So klein auch die Entfernung der beiden Belegungen sein mag, so ist doch die gegenseitige Bindung nicht vollständig. Damit auf der ableitend berührten Rückseite die Elektricität vollständig gebunden sei, muss auf der Vorderseite ein Ueberschuss von Elektricität, also freie Elektricität vorhanden sein, welche man auf folgende Art leicht nachweisen kann. Man befestige mit etwas Wachs auf jeder Seite der Tafel ein leichtes elektrisches Pendel in der Weise, wie man in Fig. 135 sieht, welche die Scheibe des Apparates Fig. 134 im Durchschnitt

Fig. 134.

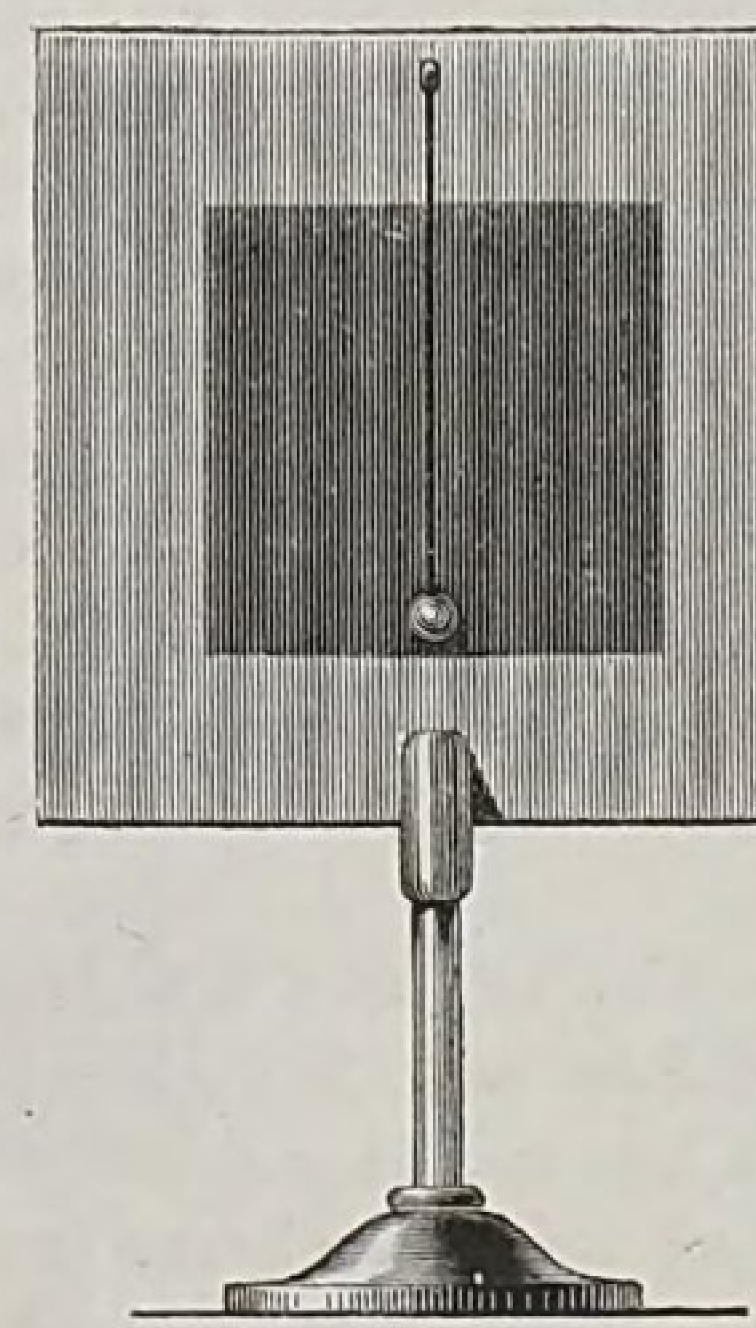
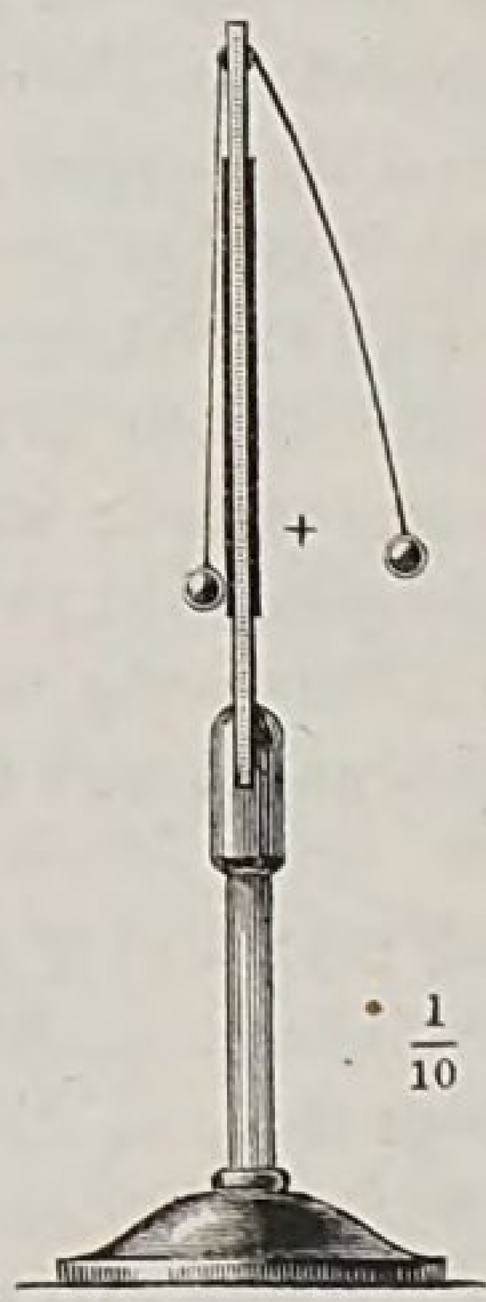


Fig. 135.



zeigt. Auf der Seite, auf welcher freie Elektricität sich befindet, wird das Pendel abgestossen, während es auf der anderen Seite gerade herunterhängt und mit der Belegung in Berührung bleibt. Berührt man die Seite, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so fällt das Pendel nieder, während das auf der anderen Seite steigt. Man kann also durch abwechselndes Berühren auf der einen und auf der anderen Seite abwechselnd das eine und das andere Pendel steigen machen.

Diese Erscheinung mit den Pendeln lässt sich leicht erklären. Wenn auf der einen Seite ein Ueberschuss von + E ist, so wirkt sie anziehend sowohl auf die — E der anderen Belegung, als auch auf die wenige — E, die sich im Kügelchen der anderen Belegung befindet. Freilich wirkt die — E der hinteren Belegung abstossend auf die — E im Kügelchen, aber die Kraft, mit welcher der Ueberschuss der + E das negative Kügelchen anzieht, ist grösser als die Kraft der Abstossung.

Leitet man aber die überschüssige $+ E$ ab, so verbreitet sich die freigewordene $- E$ zum Theil über das Kügelchen, welches nun abgestossen wird, weil jetzt kein Ueberschuss von $+ E$ auf der anderen Seite mehr vorhanden ist, welcher es zurückhalten könnte.

Dadurch, dass man abwechselnd die eine und dann wieder die andere Belegung mit dem Finger berührt und so immer die freie Elektricität auf der einen Seite wegnimmt, wird allmälig der Apparat ganz entladen. Wenn man aber die beiden Belegungen zugleich berührt oder sie auf irgend eine andere Weise in leitende Verbindung setzt, so findet die Entladung auf einmal statt, indem die angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Belegungen auf diesem Wege zu einander übergehen. Man wendet zu diesem Zwecke gewöhnlich den Fig. 136 dargestellten Entlader an. Er besteht aus zwei gebogenen Messingstäben $b\,c$ und $b'\,c$, welche bei c durch ein Charnier verbunden sind. Jeder der Arme des Ausladers endet mit einer kleinen Messingkugel (b und b') und ist ausserdem noch mit einem isolirten Handgriff (m und m') versehen. Man berührt die eine Belegung mit der einen Kugel und nähert die andere Kugel der gegenüberstehenden Belegung. Schon in einiger Entfernung springt ein Funken mit lebhaftem Licht und lautem Knall über.

Fig. 136.

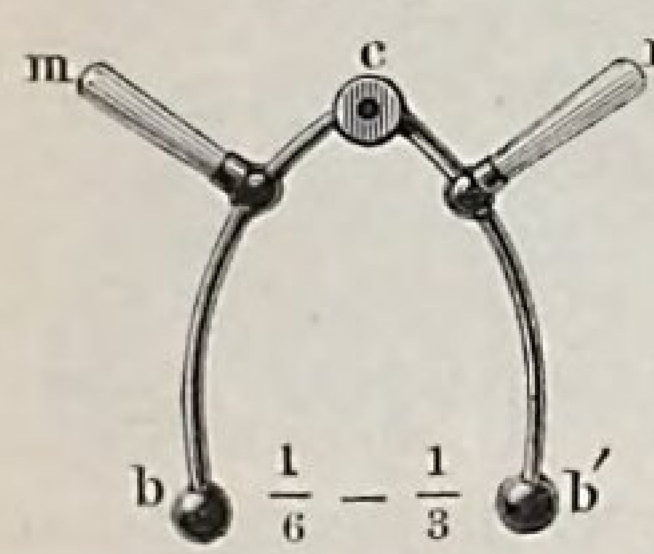
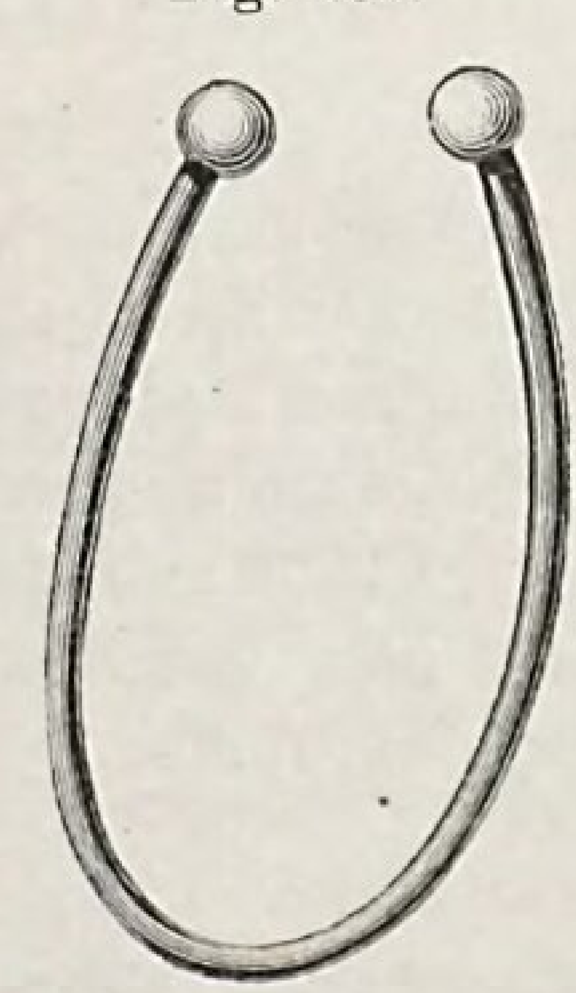


Fig. 137 zeigt eine andere Form des Ausladers, mit nur einem Glasgriff m, welche noch mehr verbreitet ist als die zuerst besprochene. Auch hier ist c ein Charnier, um welches die beiden Arme $c\,b$ und $c\,a$ gedreht werden können, so dass man den Abstand der Kugeln a und b nach Bedürfniss grösser oder kleiner machen kann.

Fig. 137.



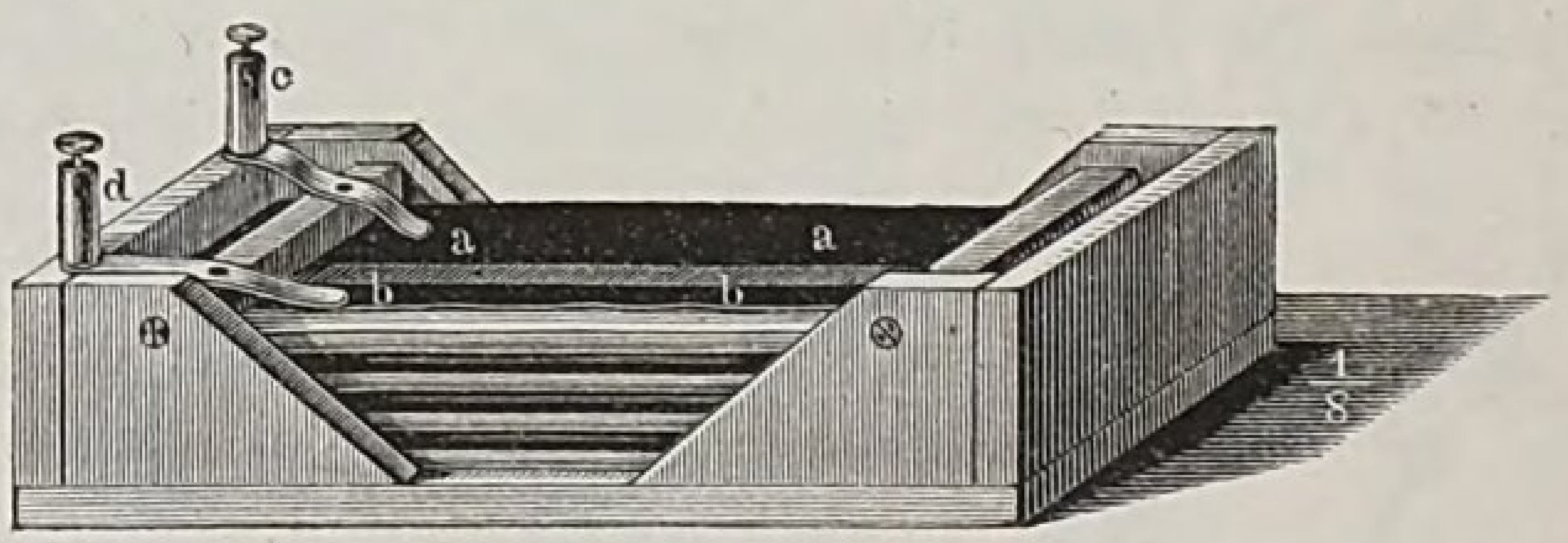
Fig. 138.



Den bequemsten und einfachsten Auslader, Fig. 138 (a. v. S.), bildet ein gegen 2 mm dicker, etwas über 1 m langer Kupferdraht, welcher mit einer starken Hülle von Guttapercha umgeben ist und dessen Enden mit Messingkugeln von ungefähr $1^1/_2$ cm Durchmesser versehen sind.

Als eine Art Franklin'scher Tafel ist der Condensator von Wachstaffet, Fig. 139, anzusehen, welchen Stöhrer an dem später zu beschreibenden Funkeninductor angebracht hat. Ein ungefähr $2\frac{1}{2}$ m langer, 28 cm breiter Streifen von gut gefirnisstem Wachstaffet ist auf beiden Seiten

Fig. 139.



in entsprechender Weise mit Stanniol belegt, welcher mit Schellackfirniss aufgeklebt wird. Dieser Streifen ist nun vielfach zusammengelegt und zwischen je zwei Lagen ein dünnes Brettchen von dünnem Tannenholz eingelegt. Das Ganze befindet sich dann in einem Kasten, welcher als Schieblade in das Gestell des bezeichneten Apparates eingeschoben wird. *a* ist das Ende der einen, *b* das über den Rand des Wachstaffets etwas übergreifende Ende der anderen Belegung; zwischen *a* und *b* bleibt natürlich ein hinlänglicher breiter Streifen Wachstaffet umgelegt. Ein federnder Kupferstreifen führt von dem Messingsäulchen *c* zur einen, eine zweite Kupferfeder führt vom Messingsäulchen *d* zur anderen Belegung.

Dieser Condensator ist nur für Elektricität von äusserst geringer Spannung anwendbar, indem er schon nicht mehr ausreicht, um die von einer etwas starken Zamboni'schen Säule herrührende Ladung zu halten. Für solche stärkere Ladungen muss die Isolation vollständiger sein, man muss Condensatoren anwenden, bei welchen die isolirende Schicht durch ein Glimmerblatt gebildet wird. Um eine grössere Oberfläche zu erhalten, kann man dann mehrere solcher belegter Glimmerblättchen zu einer Batterie verbinden.

52 **Die Leydener Flasche** ist eigentlich nur eine bequemere Form der Franklin'schen Tafel; sie besteht aus einem Glasgefäss, welches aussen bis auf mehrere Centimeter vom Rande mit Stanniol beklebt ist; innen ist das Gefäss auf ähnliche Weise mit einer Belegung versehen, oder bei kleineren Flaschen mit engem Halse mit einer leitenden Substanz, etwa mit Feilspähnen oder unechtem Goldschaum, gefüllt. Die

innere Belegung ist mit einem Messingstabe verbunden, welcher durch den Stopfen oder den Deckel des Gefässes hindurchgeht und mit einem Knopfe endigt. Die Figuren 140, 141 und 142 stellen verschiedene Formen der Leydener Flasche dar.

Fig. 140.

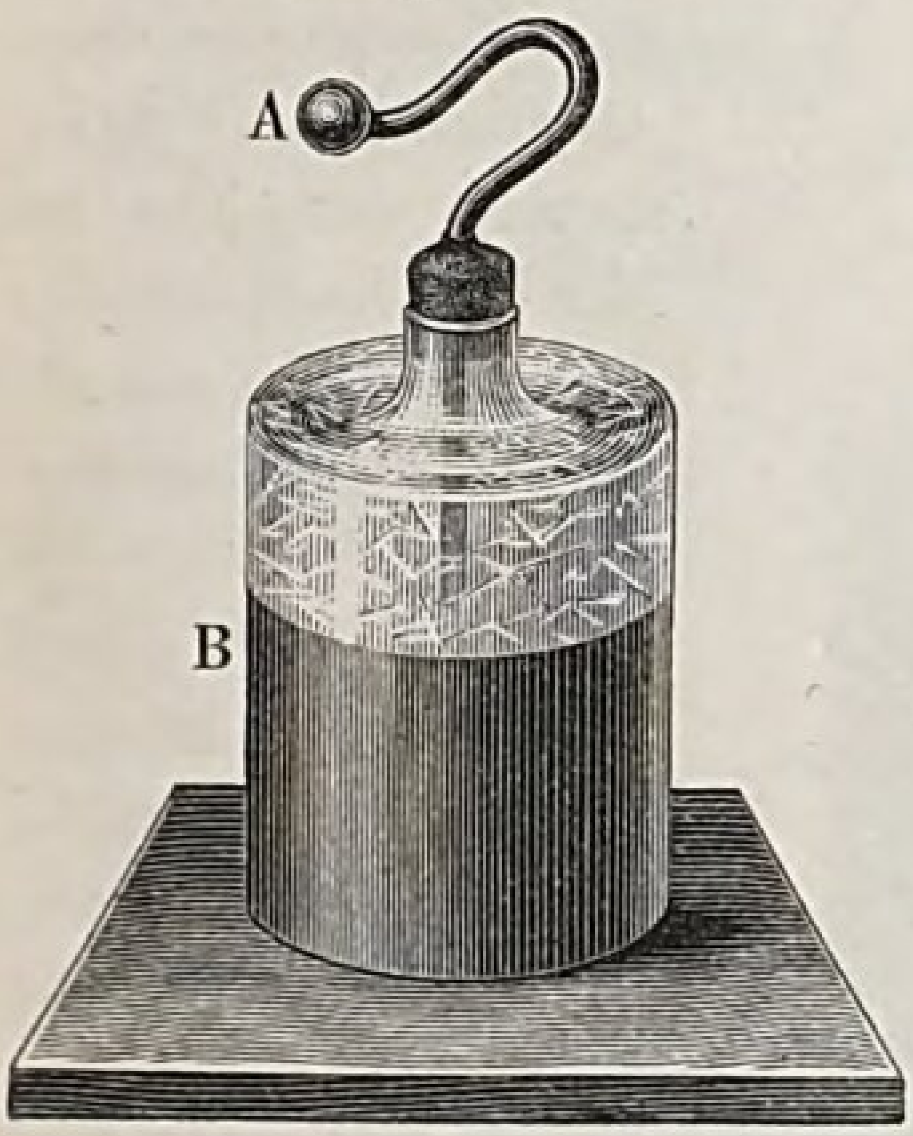


Fig. 141.

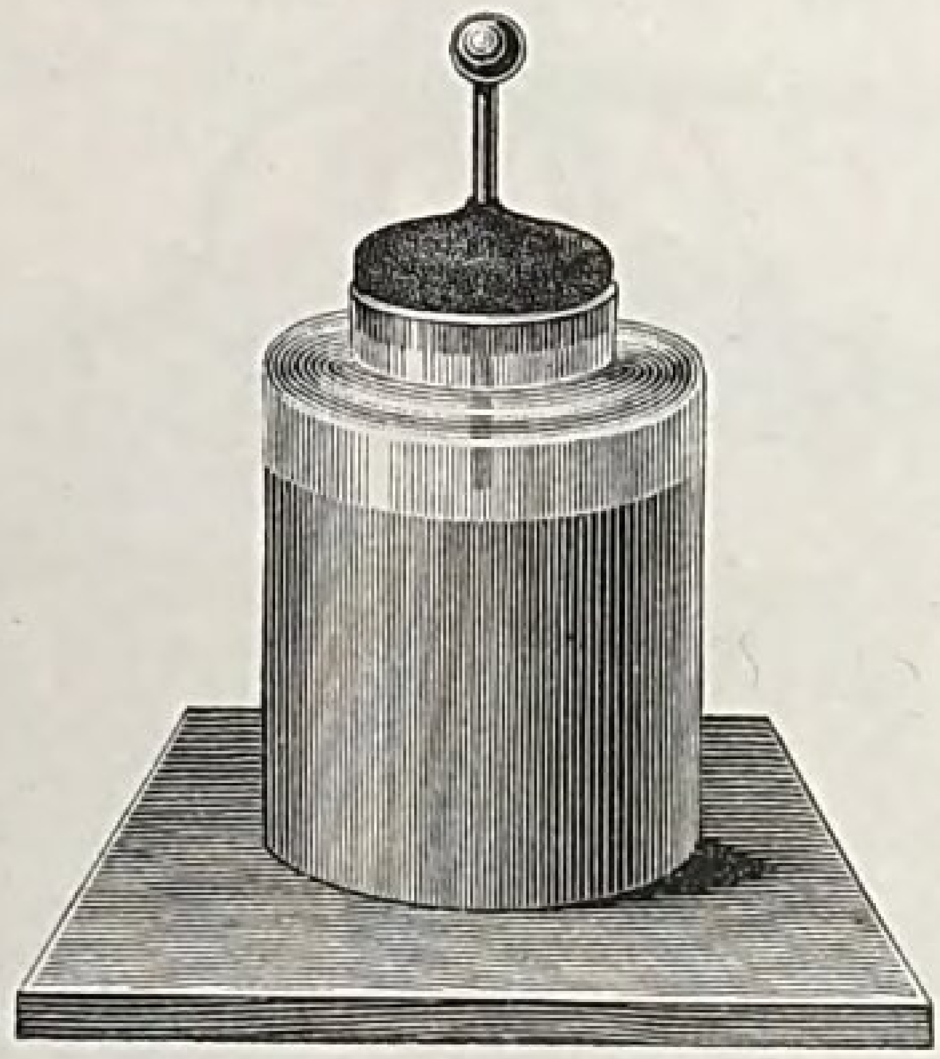
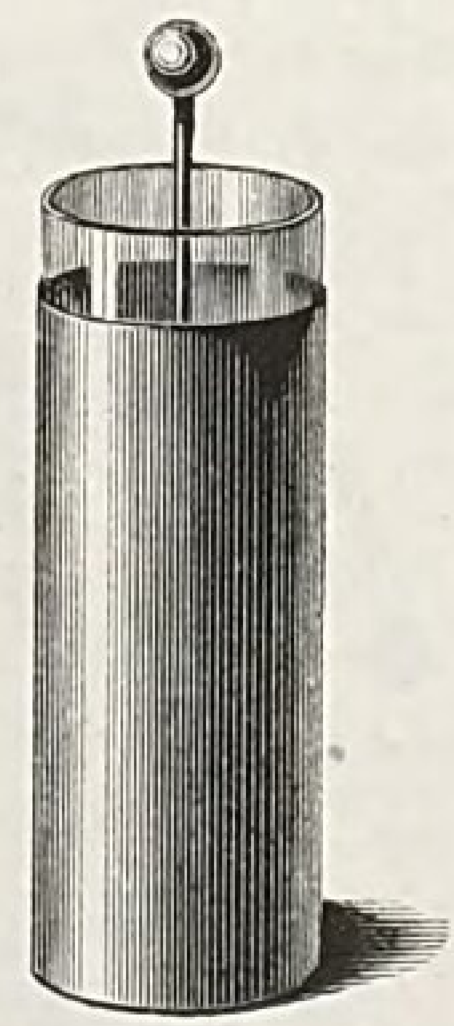


Fig. 142.



Der nicht belegte Theil des Glases muss gefirnisst werden. Um die Flasche zu laden, bringt man die äussere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Man kann aber auch umgekehrt die innere Belegung mit dem Boden und die äussere mit dem Conductor der Maschine verbinden.

Die Leydener Flasche wurde zuerst im Jahre 1745 von Kleist in Cammin, dann im Jahre 1746 von Cunäus in Leyden zufällig erfunden.

Um recht starke Ladungen zu erhalten, muss man möglichst grosse Flaschen nehmen, oder man muss mehrere Flaschen zu einer elektrischen Batterie verbinden. Eine solche Batterie ist Fig. 143 dargestellt. Alle äusseren Belegungen der Flaschen sind unter sich in leitender Verbindung, ebenso alle inneren Belegungen.

Fig. 143.

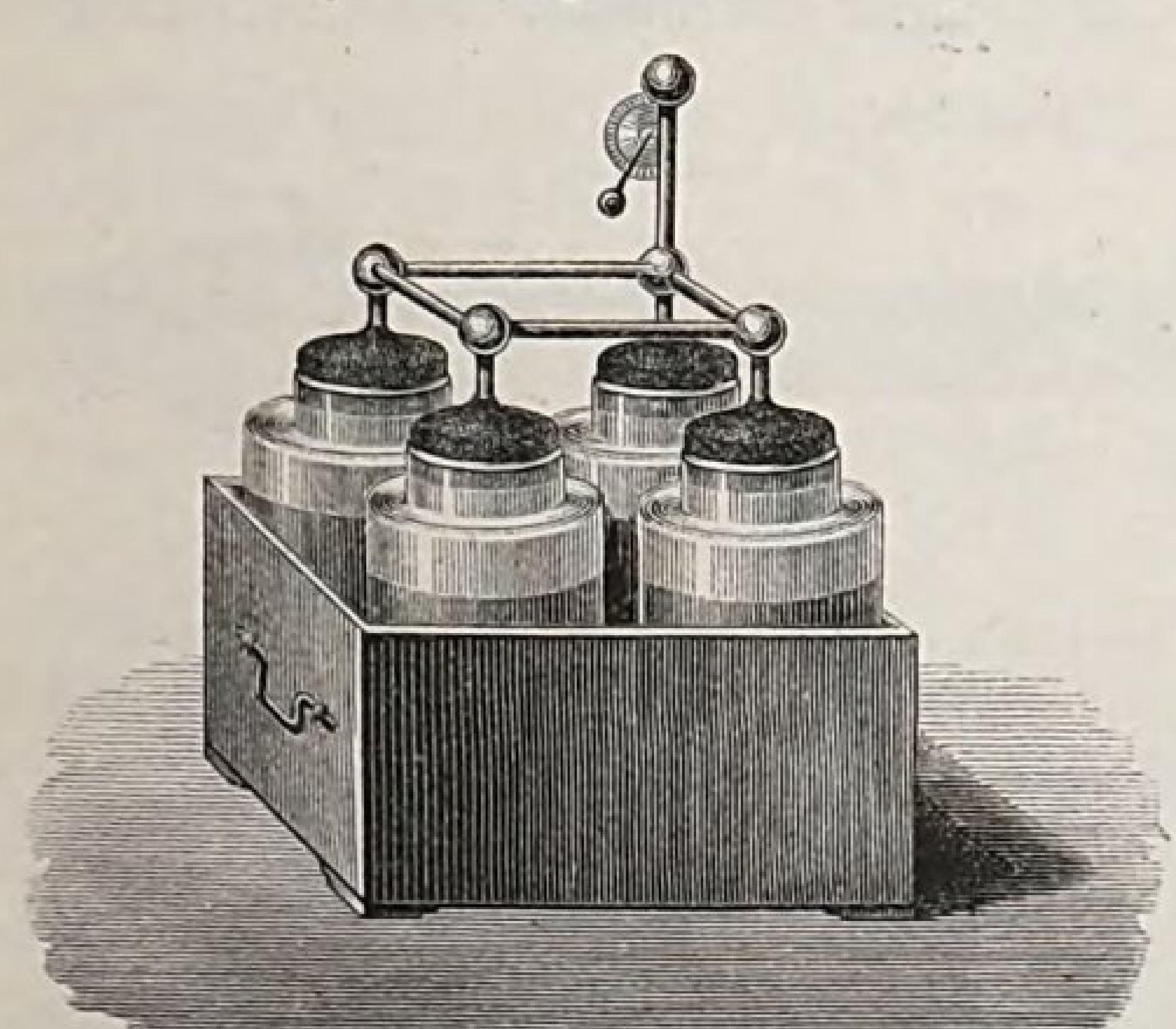
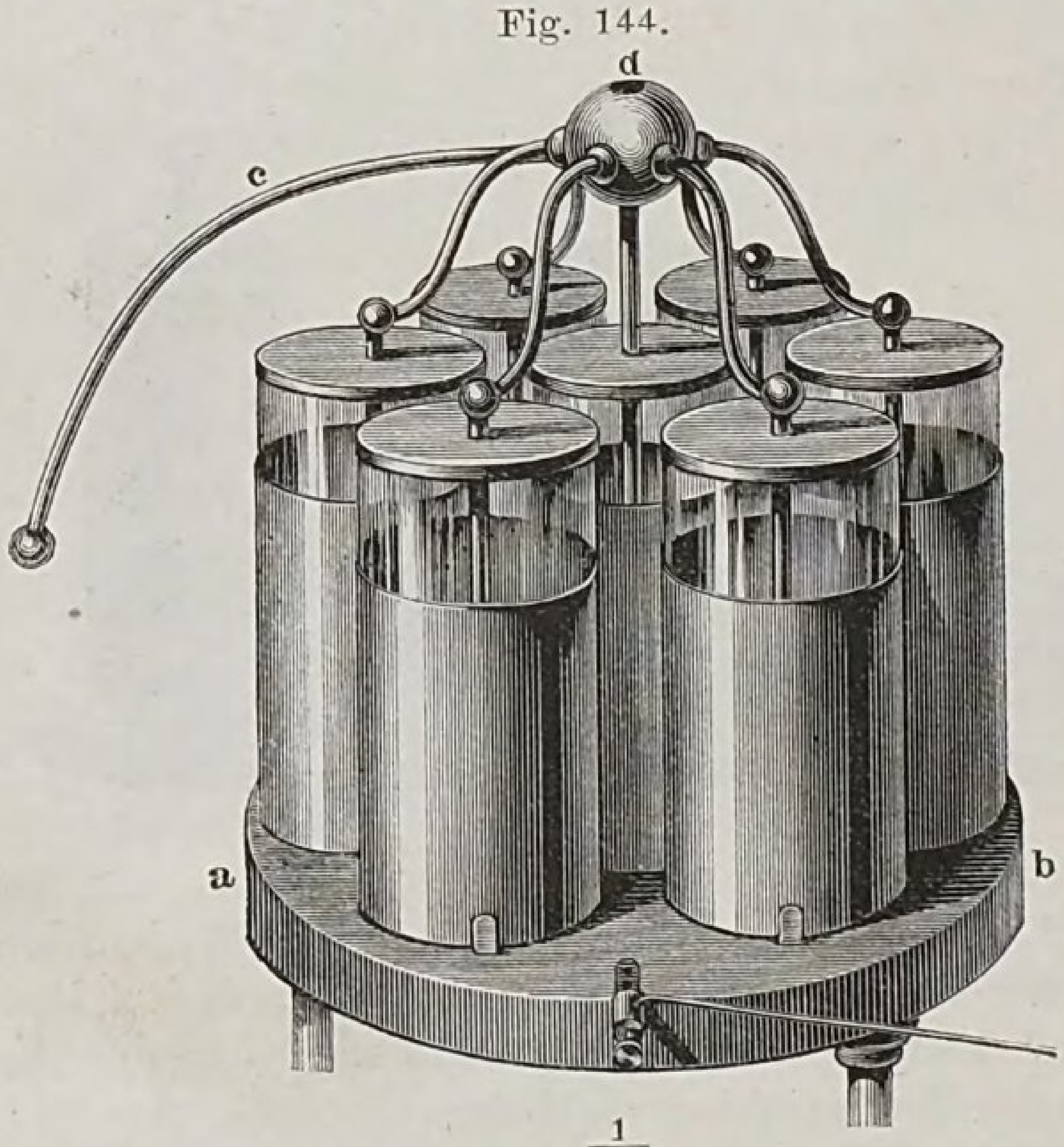


Fig. 144 (a. f. S.) stellt eine für messende Versuche sehr zweckmässige, von Riess angegebene Construction der elektrischen Batterie dar. Auf einem mit Stanniol überzogenen, durch Glasfüsse getragenen Brett $a b$ stehen

sieben möglichst gleiche Flaschen von ungefähr 25 qdcm innerer Belegung. Der Knopf der mittleren Flasche wird durch eine hohle Messingkugel *d* von 10 cm Durchmesser gebildet, welche das gebogene, mit einer kleinen Metallkugel endigende Rohr *c* trägt, und welche oben mit einer Höhlung zum Einstecken eines Quadrantenelektrometers versehen ist. Mit den Knöpfen der sechs übrigen um die mittlere herumstehenden Flaschen ist die Kugel *d* durch metallische Bogen verbunden, welche aber nach Belieben von der Kugel *d* entfernt werden können. Die Knöpfe der äusseren Flaschen bilden nämlich Charniere, welche ein Zurückschlagen jener Verbindungsbogen gestatten.

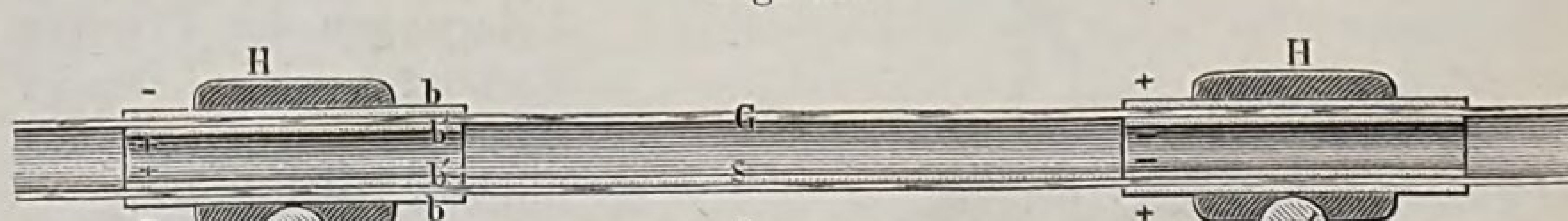
Fig. 144.



An dem Brett *ab* ist eine Klemmschraube angebracht, in welcher ein die Verbindung mit dem Boden oder mit der Maassflasche (von der alsbald weiter die Rede sein wird) herstellender Draht eingeschraubt wird.

Eine doppelte Leydener Flasche abweichender Construction wird in Verbindung mit der Influenzmaschine gebraucht. Fig. 145 zeigt dieselbe im Längsschnitt; sie besteht aus einer beiderseits offenen Glasröhre *G* von Fingerweite, welche an zwei Stellen einige Centimeter von den Enden entfernt innen und aussen mit Belegen *b*, *b'* versehen ist. Die beiden inneren Belege sind durch einen Stanniolstreifen *S* verbunden, die äusseren durch Holzfassungen *H* bedeckt, durch deren Ausschnitte hindurch die Verbindung mit den beiden Conductoren *C*, *C'* der Influenzmaschine hergestellt wird, indem man einfach die ganze Vorrichtung

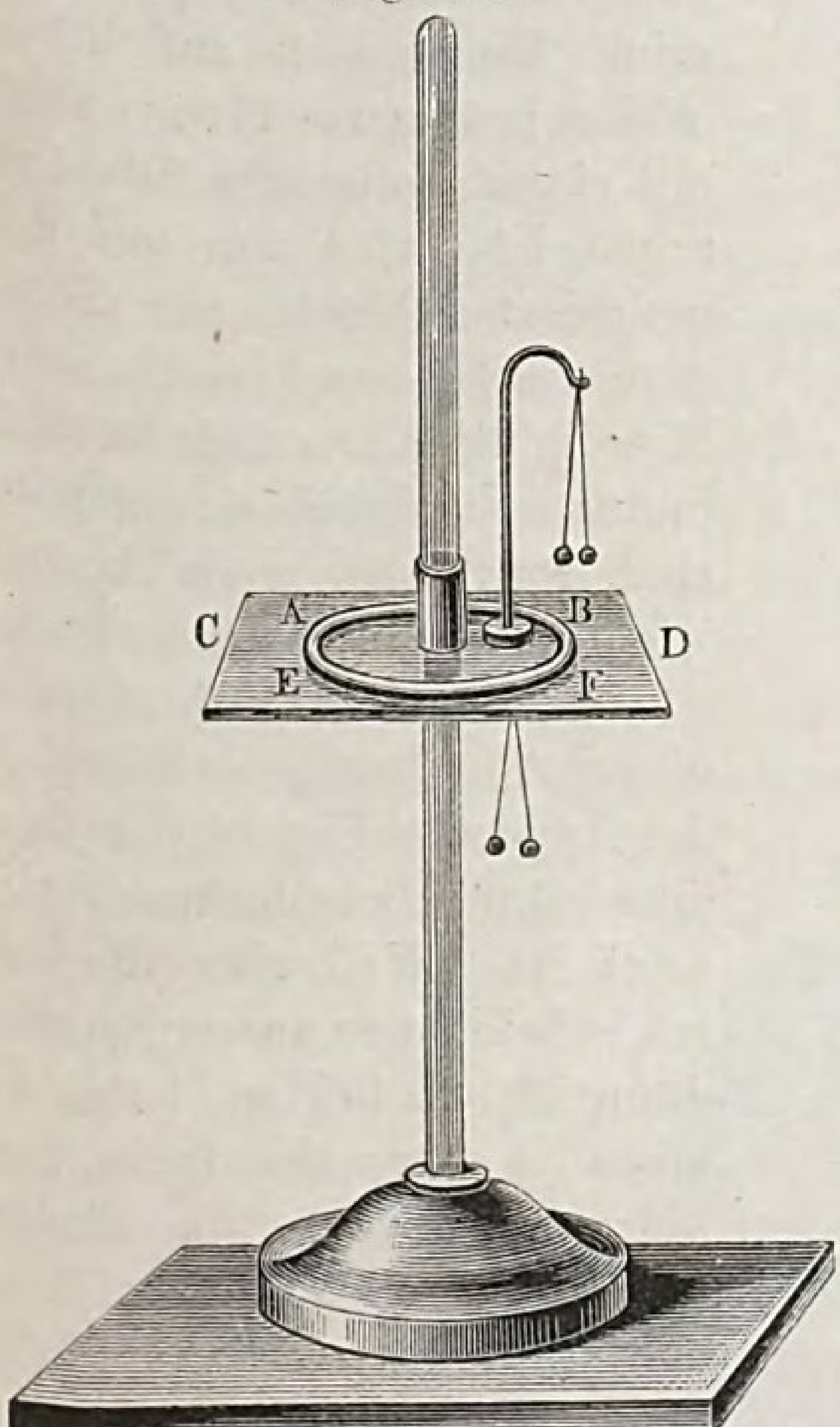
Fig. 145.



quer auf die Conductoren auflegt. Ist C der negative, C' der positive Conductor, so ladet sich das Flaschenpaar in der angezeigten Weise, indem die Influenzelektricitäten der zweiten Art auf den inneren Belegen durch den Stanniolstreifen S hindurch neutralisirt werden.

Der Condensator. Der Condensator im engeren Sinne hat 53
verschiedene Formen. Fig. 146 zeigt einen solchen für gröbere Schulversuche. Ein Holzfuss trägt einen wohl isolirenden Glasstab, auf welchen oben eine runde, am Rande mit einem dickeren Wulste versehene Metallplatte (Condensatorplatte) EF aufgekittet ist. Auf diese Metallplatte wird eine Glas- oder Guttaperchaplatte CD gelegt, welche an allen Seiten die Metallplatte wenigstens um 2·5 cm überragen muss. Auf diese isolirende Platte endlich wird gerade der ersteren gegenüber eine zweite Metallplatte AB (Collectorplatte) aufgesetzt, welche gleichfalls mit einem isolirenden Glasgriffe versehen ist.

Fig. 146.



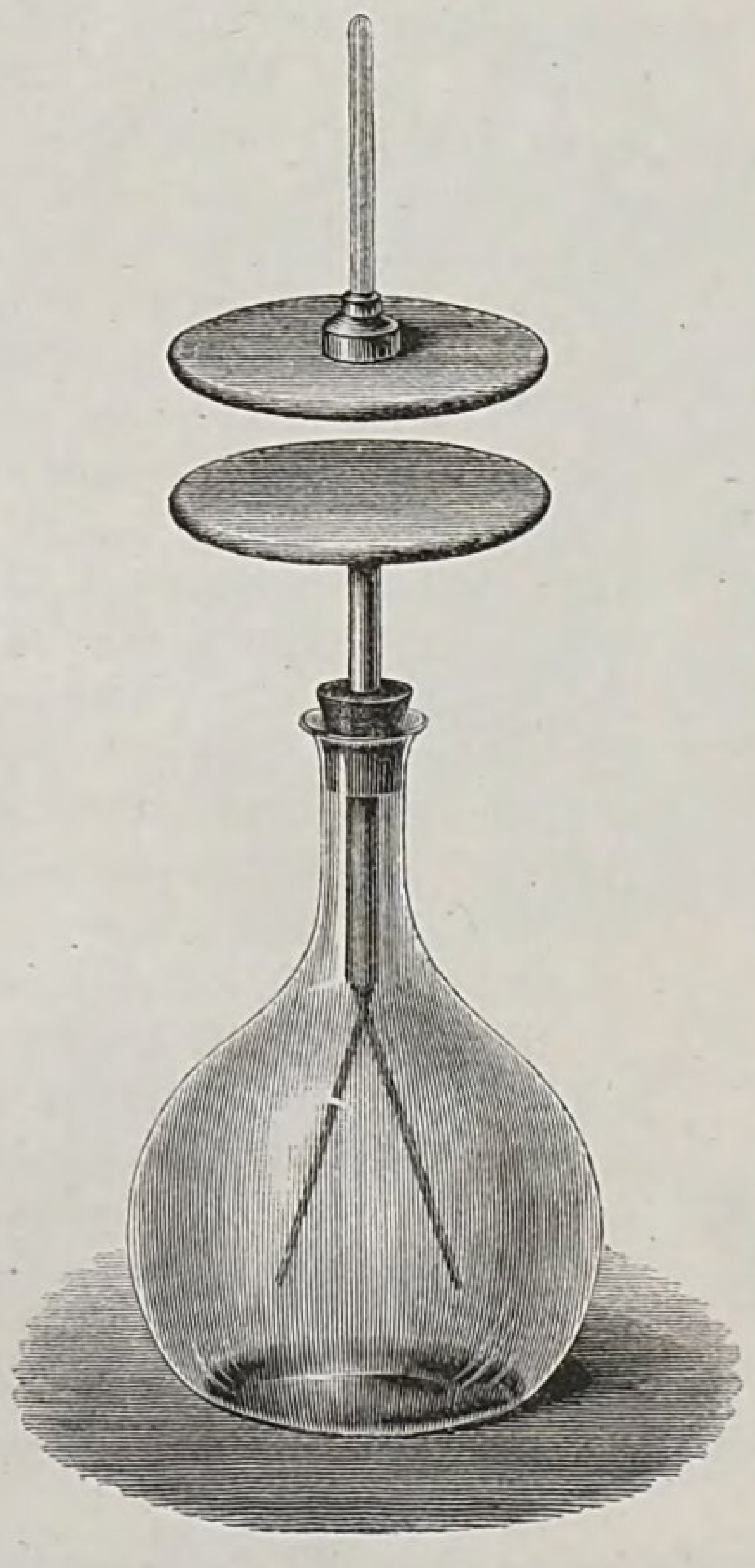
Die untere Platte kann man mit einem Häkchen versehen, an welchem ein elektrisches Pendelpaar (Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden) angehängt werden kann. Auf die obere Platte kann man einen oben hakenförmig gebogenen Draht befestigen, an welchem gleichfalls ein solches Pendelpaar hängt.

Lässt man nun mittelst eines Ausladers einige Funken vom Conductor der Elektrisirmaschine auf die Collectorplatte AB überschlagen, während die Condensatorplatte ableitend berührt ist, so divergiren die oberen Pendel, die unteren aber nicht. Entfernt man den Finger von der unteren Platte, um die obere ableitend zu berühren, so fallen die oberen zusammen und die unteren gehen auseinander. — Hat nach einiger Zeit ruhigen Stehenlassens der Apparat so viel Elektricität verloren, dass beide Pendelpaare nur noch schwach divergiren, so fahren sie noch einmal stark auseinander, wenn man an dem isolirenden Handgriff haltend die Collectorplatte AB von der Glasplatte CD abhebt, weil nun die bis dahin in den Platten gebunden gewesene Elektricität

sich frei über das ganze leitende System, also auch über die Pendel verbreiten kann.

Die feineren Condensatoren nach Volta's Construction werden meistens mit einem Elektroskop in Verbindung gebracht. Auf das Goldblattelektrometer wird eine Metallplatte aufgeschraubt, wie man Fig. 147 sieht. Diese Platte muss oben möglichst eben abgeschliffen und mit einer ganz dünnen Schicht von Schellackfirniss überzogen sein. Eine zweite auf dieselbe Weise präparirte Platte, welche mit einem isolirenden Stiele versehen ist, wird nun mit ihrer gefirnissten Fläche auf die andere gesetzt, so dass die beiden Metallplatten nur noch durch die dünne Firnissschicht getrennt sind, sonst aber so vollkommen wie möglich auf einander passen.

Fig. 147.



Man übersieht leicht, dass bei dieser Anordnung die Glasplatte des Apparates Fig. 146 nur durch eine dünne Schellackschicht ersetzt ist. Weil aber die isolirende Schicht so ausserordentlich dünn ist, die beiden Platten also einander sehr nahe stehen, so ist hier die gegenseitige Bindung eine sehr vollständige. Bringt man die untere Platte (Collectorplatte) mit einer schwachen Elektricitätsquelle, etwa mit dem einen Pol einer kleinen Zamboni'schen Säule (deren Beschreibung später folgt) in Berührung, während man die obere ableitend mit dem Finger berührt, so wird der Condensator ganz auf dieselbe Weise geladen, wie eine Leydener Flasche, deren innere Belegung mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung steht, während die äussere nicht isolirt ist. Der ganze Unterschied liegt nur darin, dass man das einemal mit einer Elektricitätsquelle von grosser, das anderemal mit einer solchen von sehr geringer elektrischer Spannung zu thun hat.

Ist auf diese Weise der Condensator geladen worden, so wird der Finger von der oberen, die Elektricitätsquelle von der unteren Platte entfernt und dann die obere Platte abgehoben (und zwar möglichst pa-

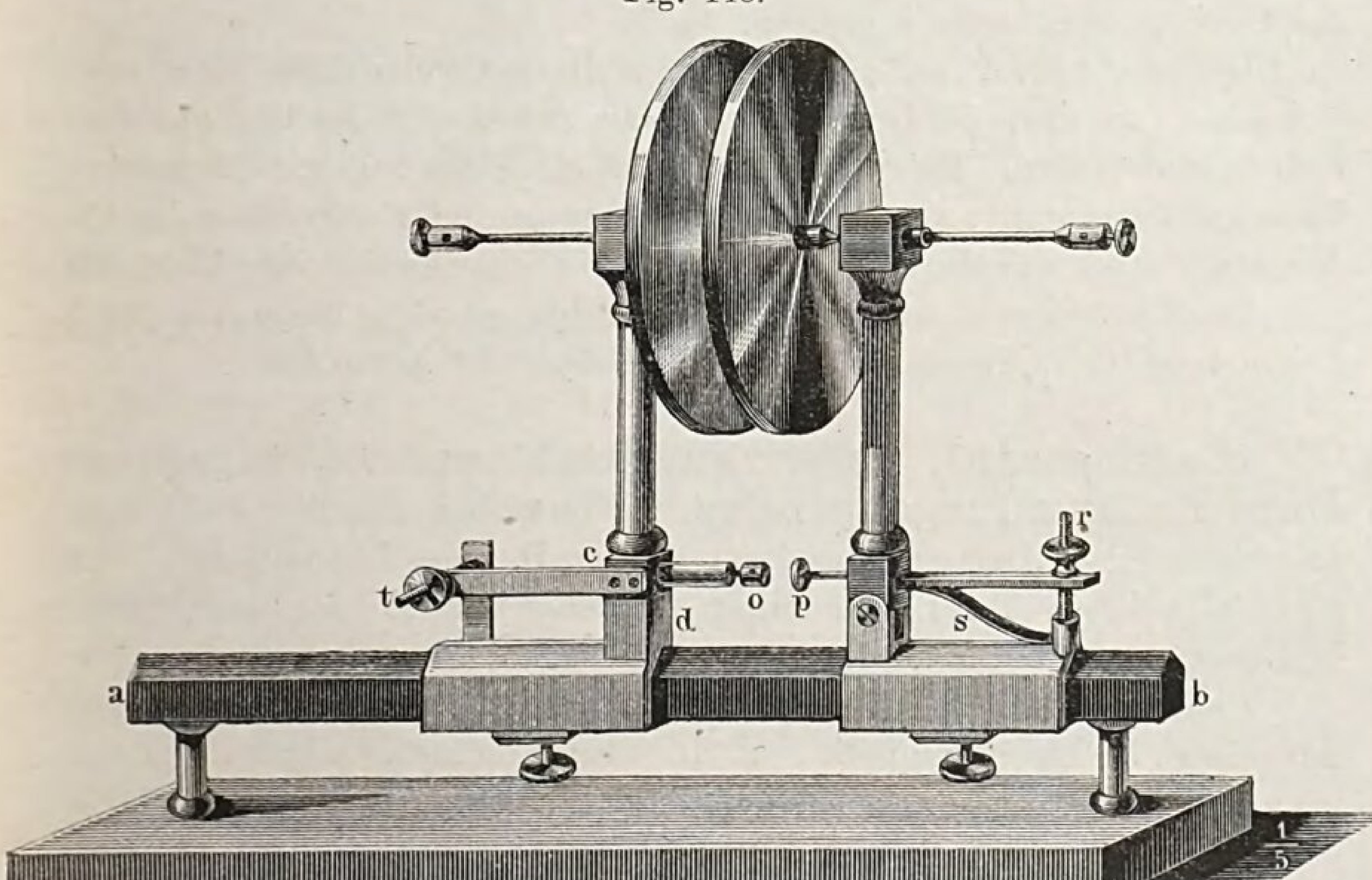
rallel, damit die Berührung der beiden Platten in allen Punkten in demselben Momente aufgehoben wird); dadurch wird die bis dahin gebundene Elektricität der unteren Platte frei, ein Theil derselben verbreitet sich über die Goldblättchen und bewirkt eine Divergenz derselben, welche die Elektricitätsquelle direct entweder gar nicht oder doch nur in ungleich geringerem Maasse hervorzubringen im Stande war.

Da man die Condensatorplatten in der Combination mit dem Goldblattelektrometer nicht immer auf absolut gleiche Weise auf einander setzen kann, da man ebensowenig eines vollkommen gleichmässigen Abhebens sicher ist, so haben die mit einer solchen Vorrichtung erhaltenen Resultate nicht die zu quantitativen Untersuchungen nöthige Genauigkeit. Um diese zu erlangen, gab Kohlrausch dem Condensator eine andere Einrichtung und brachte ihn statt mit einem Goldblattelektrometer mit dem für Messungen weit geeigneteren Dellmann'schen Elektrometer, Fig. 119, in Verbindung (Pogg. Annal. Bd. LXXV).

Nachdem Kohlrausch die Form des Condensators mehrmals abgeändert und verbessert hatte, blieb er bei einer Einrichtung desselben stehen, welche mit einigen constructiven Abänderungen in Fig. 148 dargestellt ist.

Auf einem durch zwei Messingstäbchen getragenen Stahlprisma $a\,b$ sind, ähnlich wie bei einem Stangenzirkel, zwei genau passende Messing-

Fig. 148.



hülsen verschiebbar, von denen jede ein Säulchen von Holz trägt. In dem Kopf eines jeden dieser Säulchen ist ein Messingdraht mit Schellack eingekittet, welcher auf der einen Seite mit einer Klemmschraube, auf

der anderen Seite aber mit einer Verstärkung endigt, in welche die Condensatorplatte eingeschraubt werden kann, welche ungefähr 15 cm Durchmesser hat.

Da es besonders wichtig ist, dass die Condensatorplatten einander vollkommen parallel stehen, so ist die Vorrichtung getroffen, dass die eine der Platten (in unserer Figur die auf der rechten Seite) ein wenig mehr nach vorn oder nach hinten geneigt, die andere aber um eine verticale Axe etwas nach rechts oder links gedreht werden kann. Wie das erstere mit Hilfe der Schraube *r* und der Feder *s* geschieht, ist wohl aus der Figur ohne weitere Erläuterung verständlich. — Das Holzsäulchen links ist auf einem vierseitigen Metallstück *c* befestigt, welches mittelst einer gut geschnittenen Schraube in dem Messingstück *d* steckt. An *c* ist ein messingener Hebel angeschraubt, welchen man nur etwas vor- oder zurückzuschieben braucht, um die Säule nach der einen oder anderen Richtung um ihre verticale Axe zu drehen. Die Bewegung des Hebels geschieht mittelst der Schraube *t* und einer Spiralfeder, welche denselben nach vorn drückt.

Sind die Platten genau parallel gestellt, so ist es ferner von Wichtigkeit, dass man sie nicht über eine gewisse Gränze nähern und ihren Abstand reguliren kann. Es wird dies dadurch bewerkstelligt, dass bei Annäherung der Platten der Schraubenkopf *o* an das Plättchen *p* anstösst. Durch Drehen des Schraubenkopfes *o* kann man den Abstand der Condensatorplatten reguliren.

Die etwas über 2 mm dicken Platten dieses Condensators sind nicht gefirnisst, so dass die isolirende Schicht zwischen denselben nur durch Luft gebildet wird. Beim Gebrauch wird einer der beiden Schieber vollkommen festgestellt, so dass die Annäherung und Entfernung der Condensatorplatten nur durch Verschiebung des anderen bewerkstelligt wird.

Der Condensator ist, wie wir bald sehen werden, besonders für die Lehre vom Galvanismus von grosser Wichtigkeit geworden.

54 **Bindungszahl, Verstärkungszahl und Ladungsgränze eines Ansammlungapparates.** Wir wollen nun die elektrischen Ladungen eines Ansammlungsapparates, z. B. eines Condensators, einer Franklin'schen Tafel oder einer Leydener Flasche in quantitativer Richtung näher untersuchen.

Die Belegung I (Collectorplatte, Knopf der Leydener Flasche) werde mit einer Elektricitätsquelle, z. B. dem Conductor einer Elektrisirmaschine, in Verbindung gesetzt und es bedeute $+ E$ die grösste Menge positiver Elektricität, welche diese Belegung I vom Conductor aufzunehmen vermag, während sie noch keiner zweiten Belegung gegenübersteht. Die Elektricitätsmenge $+ E$ bringt also auf der Belegung I eine Spannung hervor, welche derjenigen auf dem Conductor selbst entspricht.

Stellt man aber der Belegung I die Belegung II abgeleitet gegenüber, so wird auf letzterer eine Elektricitätsmenge $- kE$ gebunden,

wobei k einen ächten Bruch bedeutet, welcher die Bindungszahl (Bindungscoëfficient) genannt wird. Diese Zahl k ist von der Dicke und Beschaffenheit der isolirenden Schichte abhängig.

Die gebundene negative Elektricität $-kE$ bindet rückwärts auf Belegung I die Elektricitätsmenge

$$+k \, . \, kE = +k^2 E,$$

so dass daselbst nur mehr

$$E - k^2 E = E(1 - k^2)$$

freie positive Elektricität vorhanden ist. Da die Spannung dadurch sinken muss, so strömt vom Conductor wiederum eine Menge $+k^2 E$ nach, so dass die frühere Spannung wieder hergestellt wird. Diese $+k^2 E$ bindet aber auf der Gegenseite wiederum eine Menge $-k^3 E$, und diese rückwärts die Menge $+k^4 E$.

Man erhält daher in dieser Weise fortschreitend, bis die Ladungsgränze erreicht wird:

Auf Belegung I die Ladung

$$E + k^2 E + k^4 E + \cdots = \frac{E}{1 - k^2}.$$

Auf Belegung II die Ladung

$$-kE - k^3 E - k^5 E + \cdots = -\frac{kE}{1 - k^2},$$

die endliche Ladung auf I ist demnach grösser als auf II und zwar $\frac{1}{k}$ mal so gross. Sie ist ferner $\frac{1}{1 - k^2}$ mal so gross als die Ladung E der alleinstehenden Belegung I. Diese Zahl $\frac{1}{1 - k^2} = m$ wird die Verstärkungszahl des Apparates genannt.

Dieselbe bedeutet also das Verhältniss der auf der Collectorplatte (inneren Belegung der Flasche) vorhandenen Elektricitätsmenge zu jener, welche bei gleicher Spannung auf der alleinstehenden Collectorplatte vorhanden sein könnte. Dabei denkt man sich die Condensatorplatte abgeleitet. Würde man dagegen die Belegung II nicht ableiten, so würde die Elektricität der Belegung I frei bleiben und könnte daher nicht grösser werden, als wenn diese Belegung allein vorhanden wäre.

Wäre z. B. für eine Leydener Flasche die Bindungszahl $k = 0{\cdot}95$, so würde die Verstärkungszahl

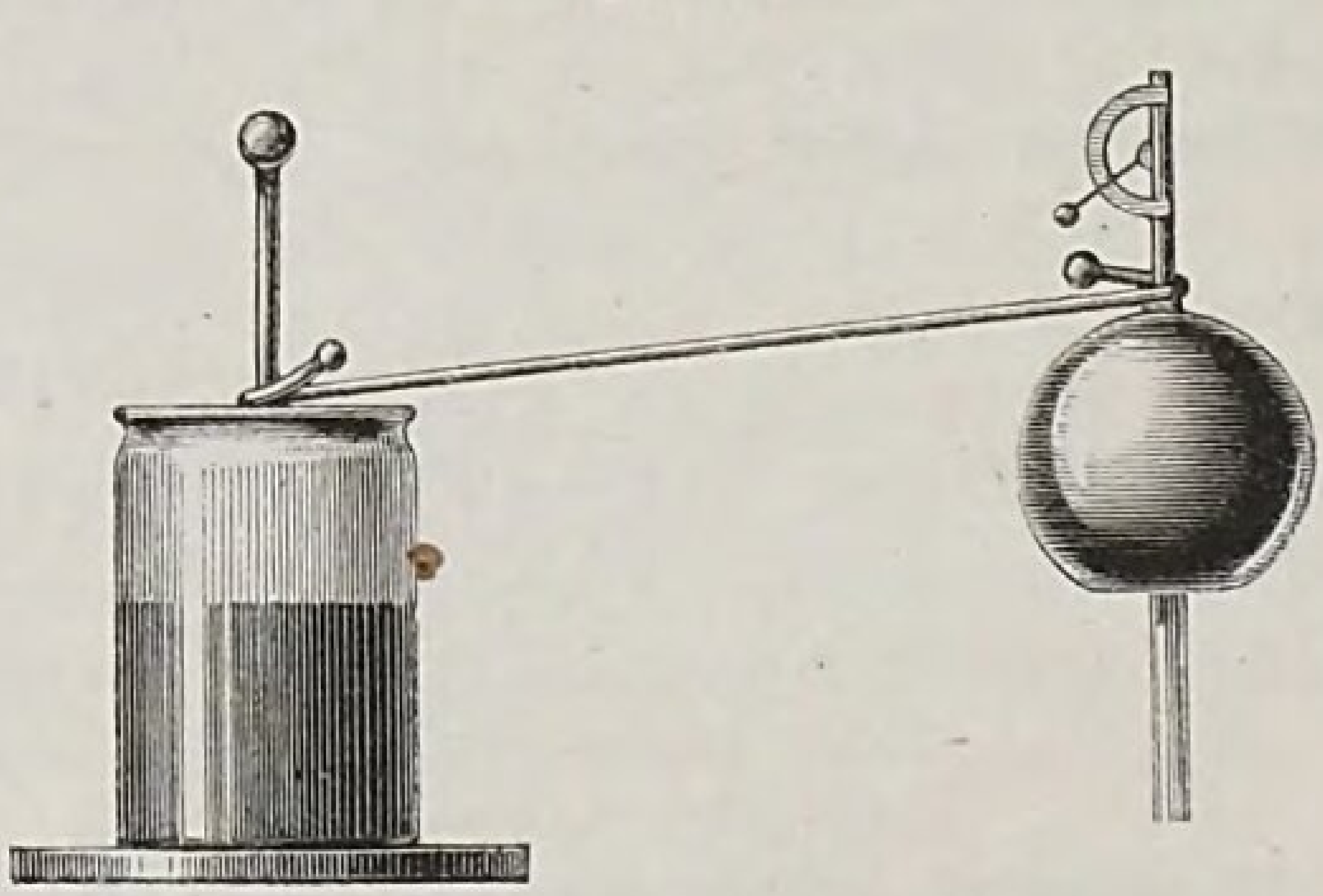
$$m = \frac{1}{1 - k^2} = 10.$$

Für den Fall also, dass die äussere Belegung ableitend berührt ist, würde eine 10 mal so grosse Elektricitätsmenge auf der inneren Belegung der Flasche angehäuft werden können, als für den Fall, dass die äussere Belegung isolirt bliebe oder gar nicht vorhanden wäre.

Wenn die äussere Belegung ableitend berührt ist, so bedarf es in der That eines längeren Drehens der Maschine, bis das Pendel an der vorderen Belegung durch sein Aufsteigen anzeigt, dass die Gränze der Ladung erreicht sei.

Dass durch den Einfluss der ableitend berührten äusseren Belegung einer Leydener Flasche eine weit grössere Elektricitätsmenge auf der inneren angehäuft werden kann, als ohne dies möglich wäre, lässt sich leicht in folgender Weise darthun. Man setze eine Leydener Flasche auf einen wohl isolirenden Harzkuchen und bringe die innere Belegung derselben mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung, auf welchem, wie Fig. 149 zeigt, ein Quadrantenelektrometer aufgesetzt ist. Schon nach einer Umdrehung der Maschine wird das Elektrometer einen Ausschlag von 20 bis 30° zeigen. Sobald man nun aber die äussere Belegung mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt hat, fällt das Elektrometer zusammen, weil alle Elektricität, welche bis jetzt als freie auf der inneren Belegung vorhanden war, gebunden wird, und also von Neuem Elektricität vom Conductor nach ihr überströmen kann. Es sind jetzt 8 bis 12 Umdrehungen der Maschine nöthig, ehe das Elektrometer wieder seinen alten Ausschlag erreicht hat, ein Beweis, dass bei ableitend berührter äusserer Belegung die Flasche eine 8- bis 12 mal grössere Elektricitätsmenge aufzunehmen im Stande ist als bei isolirter.

Fig. 149.



Nicht immer lässt sich die dem Bindungscoëfficienten entsprechende Gränze der Ladung erreichen, denn wenn man hinlänglich kräftige Maschinen anwendet, so werden die Widerstände, welche die völlige Vereinigung der Elektricitäten der beiden Belegungen hindern, schon überwunden, es erfolgt von selbst schon eine Entladung, ehe noch die besprochene Gränze erreicht ist, indem entweder das Glas durchbrochen wird, oder ein Funken durch die Luft über den unbelegten Glasrand hin überschlägt.

Bei der allmäligen Entladung des Condensators durch abwechselnde Ableitung der beiden Belegungen entweichen in ganz analoger Weise

von der Belegung I : $+E \qquad +k^2E \qquad +k^4E \ldots$

" " " II : $-kE \qquad -k^3E \qquad -k^5E \ldots$

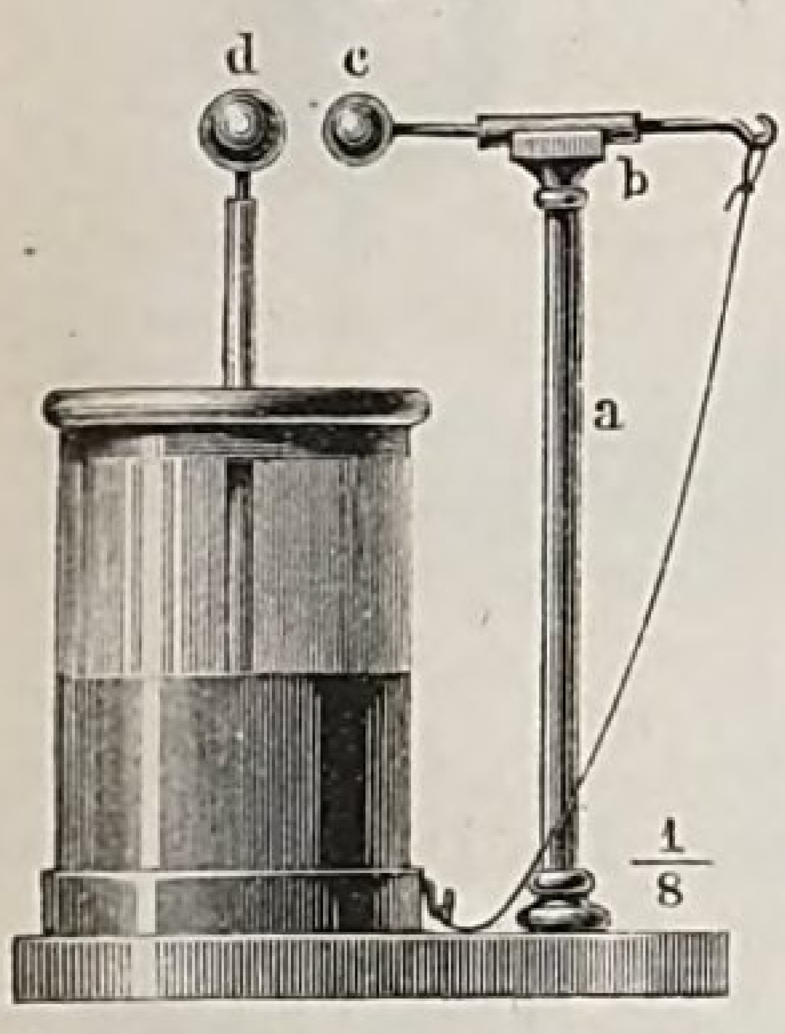
so dass also nach und nach die Entladung eine vollständige wird.

Die **Verstärkungszahl** ist nahe verkehrt proportional dem **Abstande der Platten** und zwar um so genauer, je geringer dieser

Abstand im Verhältniss zum Durchmesser derselben ist. Bei sehr kleinen Abständen ist ferner die Verstärkungszahl dem Durchmesser der Platten proportional.

Die Lane'sche Maassflasche. Eine für quantitative Unter- 55
suchungen vortreffliche Vorrichtung hat Lane angegeben. Auf demselben Fusse, Fig. 150, auf welchem die Leydener Flasche steht, ist ein verticaler Stab *a* befestigt, durch dessen oberes Ende ein horizontales, an einem Ende mit einer Kugel *c* endigendes Messingstäbchen hindurchgeht. Man kann dieses Stäbchen beliebig vor- und rückwärts schieben und in jeder beliebigen Entfernung von der Kugel *d* der Flasche feststellen. Das Stäbchen wird durch einen Messingdraht mit der äusseren Belegung der Flasche metallisch verbunden und ist mit einer Theilung versehen, welche es möglich macht, die Entfernung der beiden Kugeln genau zu messen.

Fig. 150.

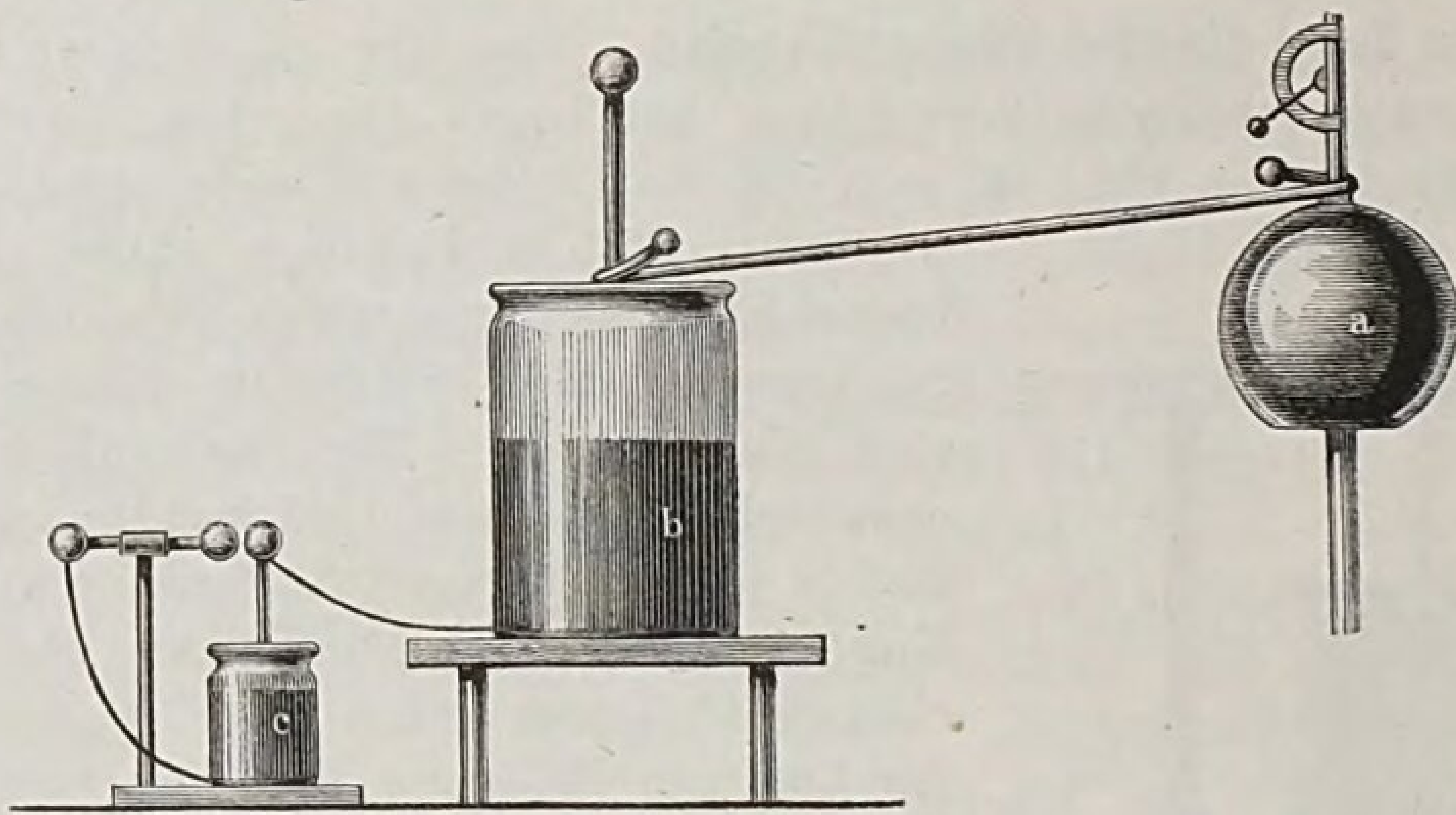


Wenn man die Kugel *c* in einer bestimmten Lage festgestellt hat, so wird der Funken überspringen, wenn die Ladung der Flasche eine gewisse Grösse erreicht hat; so oft nun bei unveränderter Entfernung der Kugeln eine Entladung der Flasche stattfindet, kann man überzeugt sein, dass sie bis zu derselben Gränze geladen war.

Riess wendete die Lane'sche Flasche an, um die relative Quantität der Elektricität zu messen, mit welcher eine Batterie geladen wird. Zu diesem Zwecke stellte er die Batterie auf ein durch Glasfüsse isolirtes Gestell und setzte die äussere Belegung der Batterie mit der inneren der Lane'schen Flasche, die äussere Belegung der Lane'schen Flasche aber mit einer grossen nicht isolirten Metalloberfläche, den Gasleitungsröhren des Hauses, in leitende Verbindung. Dieses Arrangement ist durch Fig. 151 (a. f. S.) anschaulich gemacht, wo *a* den Conductor der Maschine, *b* die zu ladende Flasche oder Batterie, *c* die Maassflasche darstellt. Wird nun der Batterie von dem Conductor der Elektrisirmaschine Elektricität zugeführt, so wird die abgestossene positive Elektricität von der äusseren Belegung der Batterie zur inneren Belegung der Lane'schen Flasche wandern und dadurch eine Ladung derselben bewirkt werden; hat aber diese Ladung eine gewisse Gränze erreicht, so folgt eine Entladung der Lane'schen Flasche. So oft nun bei fortgesetztem Drehen der Maschine eine Entladung der Lane'schen Flasche erfolgt, so oft ist von der äusseren Belegung der Batterie dieselbe Menge positiver Elektricität zu der Maassflasche übergegangen, so oft ist also auch die Ladung der Batterie um eine gleiche Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung

der Batterie ist also der Anzahl der Selbstentladungen der Maassflasche proportional.

Fig. 151.



56 **Schlagweite der Leydener Flasche.** Die Distanz, bis auf welche dem Knopf der Leydener Flasche ein mit dem äussern Beleg leitend verbundener Knopf genähert werden muss, bis die Entladung erfolgt, heisst die Schlagweite.

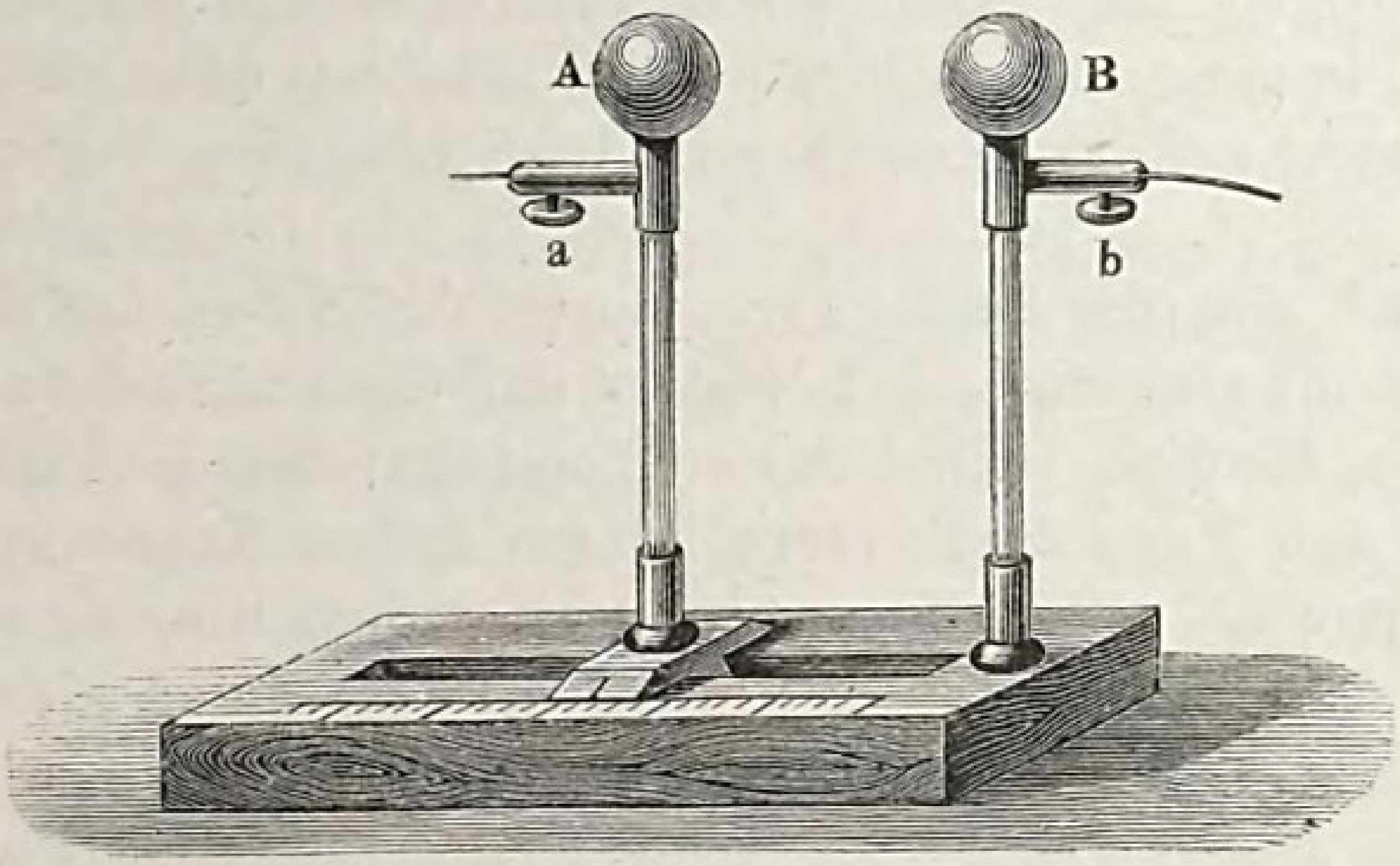
Lane fand, dass bei gleichmässigem Drehen der Elektrisirmaschine, deren Conductor mit dem Knopfe *d* der Maassflasche leitend verbunden ist, die Entladungen doppelt so häufig erfolgen, wenn die Kugel *c* nur 1 mm weit von *d* entfernt ist, als wenn diese Entfernung 2 mm beträgt. Harries und Riess bestätigten dies und fanden ferner, dass die Schlagweite einer Flasche oder einer Batterie überhaupt der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional ist, dass also für eine Batterie von 2, 3, 4 etc. ganz gleichen Flaschen eine 2, 3, 4 mal so grosse Elektricitätsmenge zugeführt werden muss, als einer einzigen solchen Flasche, wenn die Schlagweite unverändert bleiben soll.

Um die Schlagweite zu messen, bedient sich Riess des Funkenmikrometers, dessen wesentliche Einrichtung durch Fig. 152 erläutert wird. Jede der Messingkugeln *A* und *B* ist auf eine von einer Glassäule getragene Messingfassung aufgesetzt, welche mit einem horizontalen Arm zum Einklemmen von Drähten versehen ist. Der eine Glasstab mit der Kugel *B* steht fest, der andere steht auf einem Schlitten, durch dessen Verschiebung der Abstand der Kugeln beliebig verändert werden kann. Bei dem Riess'schen Funkenmikrometer wird die feinere Verschiebung des Schlittens, welcher die Kugel *A* trägt; durch eine Mikrometerschraube vermittelt.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt Die Kugel *A* wurde in einer bestimmten Entfernung *d* von der Kugel *B* festgestellt, alsdann *A* durch einen Draht mit der äusseren, *B* mit der inneren Be-

legung der Batterie in Verbindung gesetzt und dann die Batterie nach dem im vorigen Paragraphen besprochenen Verfahren mittelst der

Fig. 152.



Maassflasche geladen, es wurde also beobachtet, wieviel (q) Funken der Maassflasche überspringen mussten, bis eine Entladung der Batterie zwischen den Kugeln A und B erfolgte.

Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, in welcher s die Zahl der in Anwendung gebrachten (einander gleichen) Flaschen, also die Oberfläche der Batterie bezeichnet, wenn man die Oberfläche einer Flasche zur Einheit nimmt.

s	2	3	4	5
d	q	q	q	q
1	—	3·0	3·5	4·3
2	3·0	5·5	7·0	8·5
3	4·6	8·0	10·1	12·5
4	6·4	10·3	13·5	16·0

Die Einheit, nach welcher die Entfernung d gemessen wurde, ist 3 mm.

Eine Vergleichung der in dieser Tabelle gegebenen Versuchsresultate zeigt, dass sich dieselben ziemlich nahe dem oben ausgesprochenen Gesetz anschliessen, welches sich durch die Gleichung

$$d = b\ \frac{q}{s}$$

ausdrücken lässt, in welcher d, q und s die bekannte Bedeutung haben, b aber einen constanten Factor bezeichnet, dessen Grösse von der Wahl der Einheiten abhängt.

Nach den Versuchen von Riess ist die Schlagweite der Batterien von der Natur des Schliessungsbogens unabhängig. Bei gleicher Ladung fand er die Schlagweite einer Batterie gleich, mochte nun der Schliessungsbogen nur durch einen kurzen dicken Kupferdraht oder durch einen langen dünnen Platindraht gebildet oder mochte endlich eine mit Wasser gefüllte Glasröhre in den Schliessungsbogen eingeschaltet sein.

Während also die Schlagweite durch die Natur des Schliessungsbogens nicht alterirt wird, hat letztere auf die Stärke des Funkens einen grossen Einfluss. Eine Batterie von fünf Flaschen gab bei einer Schlagweite von 3 mm durch einen kurzen dicken Kupferdraht entladen einen hellglänzenden Funken mit schmetterndem Knalle, während der Funke nur schwach war, als bei gleicher Ladung und gleicher Schlagweite ein langer dünner Platindraht als Schliessungsbogen angewendet wurde. Bei Einschaltung der Wasserröhre war der Funken kaum merklich.

Wenn die Batterie in der Schlagweite entladen wird, so bleibt noch eine merkliche Ladung zurück, welche bei grösserer Annäherung der Kugeln einen zweiten Entladungsfunken giebt. Man kann sich von dieser Thatsache leicht schon durch die Maassflasche überzeugen. Man stelle die Kugeln der Maassflasche etwa 4 mm auseinander und lade bis zum Ueberspringen des Funkens; nähert man alsdann die Kugeln noch weiter, so wird alsbald ein zweiter Funken überspringen.

Riess hat gezeigt, dass die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung der Batterie in der Schlagweite verschwindet, immer in demselben Verhältniss zur ganzen Ladung stehe, mag nun der Schliessungsbogen durch kurze dicke oder durch lange dünne Metalldrähte gebildet sein. Nach den Versuchen von Riess verschwindet nämlich bei der Entladung in der Schlagweite 0·846 oder $\frac{11}{13}$ der ganzen Ladung, so dass nur $\frac{2}{13}$ derselben zurückbleiben.

Nach dieser Thatsache lässt sich leicht der Vorgang bei der gewöhnlichen Entladung ermitteln, bei welcher eine mit der äusseren Belegung in Verbindung stehende bewegliche Kugel dem festen Knopf der inneren Belegung bis zur Berührung genähert wird. Wenn die bewegliche Kugel in die Schlagweite, welche wir mit d bezeichnen wollen, gekommen ist, so verschwinden $\frac{11}{13}$ der Ladung, es bleiben $\frac{2}{13}$ zurück; es kann erst wieder eine Entladung stattfinden, wenn die bewegliche Kugel bis auf $\frac{2}{13} d$ genähert ist, bei welcher Entfernung nun abermals $\frac{11}{13}$ der noch übrigen Ladung verschwinden; eine dritte Ladung erfolgt, wenn die bewegliche Kugel auf $(\frac{2}{13})^2 d$ genähert ist etc. Beträgt z. B. die ursprüngliche Schlagweite 3 m, so erfolgen die Entladungen bei folgenden Entfernungen:

3·00 0·46 0·07 0·011 mm,

bei welchen schon die dritte nicht mehr von der Berührung zu unterscheiden ist. Bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren wird also der

Schliessungsbogen von mehreren Entladungen ergriffen, die rasch nach einander stattfinden.

Bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet eine so bedeutende Menge von Elektricität, dass nicht etwa eine geringe Annäherung der Kugeln eine zweite Entladung zur Folge hat, sondern dass die Schlagweite auf $\frac{2}{13}$ der ursprünglichen reducirt wird. Dass eine so grosse Menge von Elektricität, dass nämlich $\frac{11}{13}$ der ganzen Ladung verschwinden, scheint darauf hinzudeuten, dass auch die Entladung in der Schlagweite eine successive ist; durch den Uebergang der ersten Elektricitätsmenge wird die Luft verdünnt, und dadurch der Uebergang neuer Elektricitätsmengen möglich gemacht, welche nicht hätten übergehen können, wenn der zu überwindende Widerstand nicht durch die Verdünnung der Luft vermindert worden wäre. Der Uebergang der Elektricität dauert fort, bis die Ladung der Batterie so schwach geworden ist, dass bei der constanten Entfernung der Kugeln trotz des wegen der verdünnten Luft geringen Widerstandes kein Funken mehr übergehen kann. Hat nun die Luft zwischen den Kugeln ihre gewöhnliche Dichtigkeit wieder erlangt, so ist nun eine bedeutende Annäherung der Kugeln nöthig, um eine abermalige Entladung möglich zu machen. Bei der Entladung in der Schlagweite wird also ihre Elektricität successiv vernichtet.

Ein Beweis für diese successive Entladung ist der Umstand, dass der Rest der Entladung viel bedeutender bleibt, dass also eine geringere Menge von Elektricität bei der Entladung vernichtet wird, wenn schon die erste übergehende Elektricitätsmenge eine Unterbrechung des Schliessungsbogens veranlasst, wie dies z. B. der Fall ist, wenn ein dünner, in den Schliessungsbogen eingeschalteter Draht durch den Entladungsschlag geschmolzen wird, ein Fall, den wir später noch genauer betrachten werden.

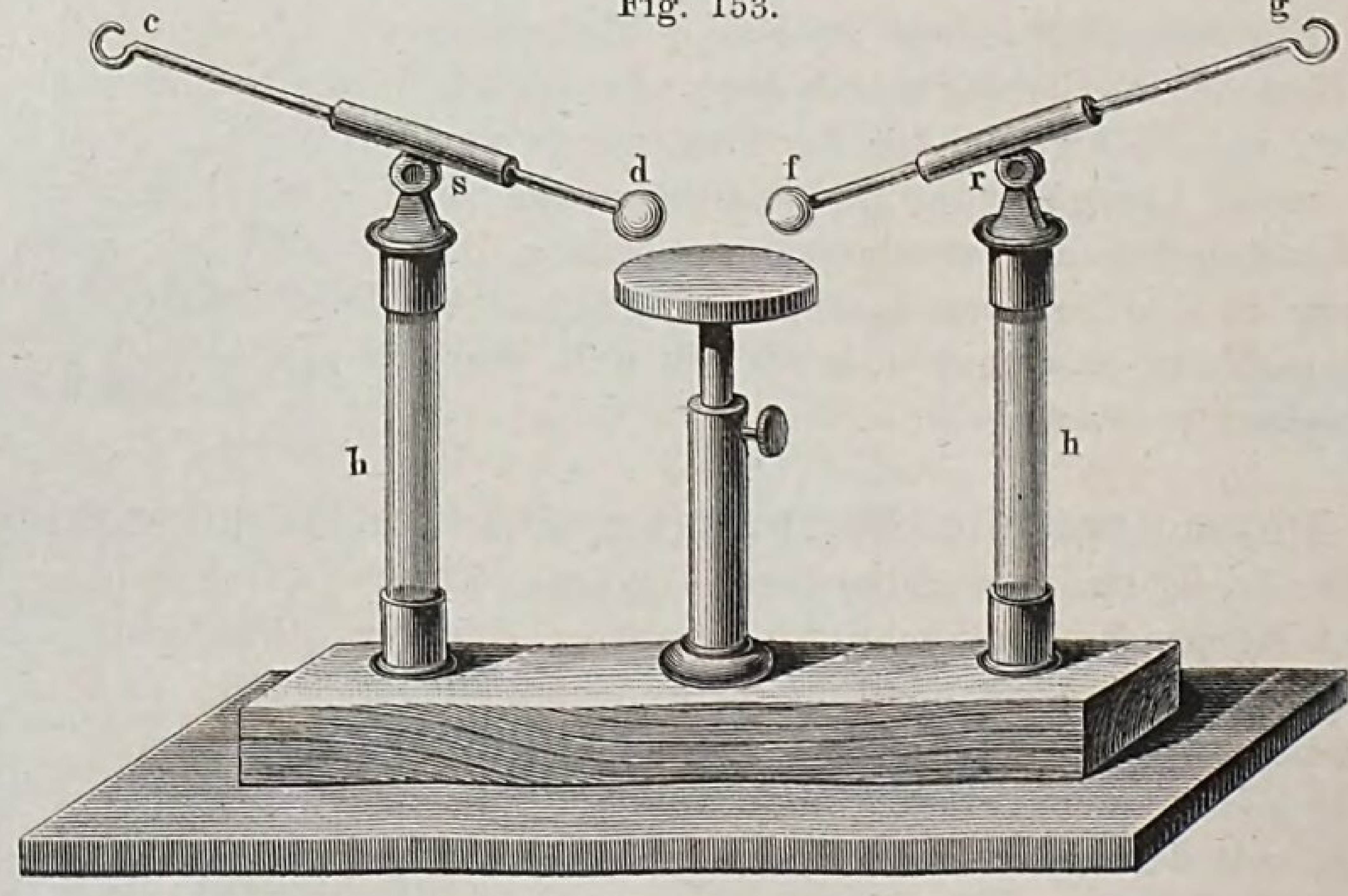
Physiologische Wirkungen des Entladungsschlages. 57
Wenn der Entladungsschlag einer Leydener Flasche durch den menschlichen Körper hindurchgeht, so bringt er eine eigenthümliche, schwer zu beschreibende Empfindung, ein schmerzliches Gefühl in den Gelenken und ein unwillkürliches Zucken der Muskeln hervor. Man macht den Versuch, indem man mit der einen Hand die äussere Belegung, mit der anderen den Knopf anfasst. Bei schwächeren Ladungen ist der Schlag nur in den Vorderarmen fühlbar; bei stärkeren fühlt man ihn auch im Oberarm, und wenn die Ladung noch stärker gemacht wird, so bringt der Schlag einen heftigen Schmerz in der Brust hervor. Sehr starke Schläge können in der That gefährlich werden. Um kleinere Thiere, wie Vögel, Hasen etc. durch den elektrischen Schlag zu tödten, hat man noch nicht einmal grosse Batterien nöthig, mit welchen man selbst noch grössere Thiere tödten kann. An den durch einen elektrischen Schlag getödteten Thieren hat man bei der anatomischen

Untersuchung derselben bis jetzt noch keine Verletzung der Organe entdecken können; nach den Zuckungen aber, welche sie machen, wenn der Schlag nicht ganz hinreichend war, um sie zu tödten, kann man beurtheilen, wie heftig das ganze Nervensystem angegriffen worden ist. Geht der Entladungsschlag durch Blut hindurch, so werden die Blutkörperchen zerstört.

Wenn mehrere Personen eine Kette bilden, indem sie einander die Hände geben, und die erste die äussere Belegung der Flasche, die letzte den Knopf anfasst, so fühlen alle den Schlag auf einmal.

58 **Mechanische Wirkungen der elektrischen Entladung.** Zu sehr vielen Versuchen, die man mit dem Entladungsschlag der Leydener Flasche und der elektrischen Batterie anstellen kann, ist der Henley'sche allgemeine Auslader, welcher Fig. 153 dargestellt ist, ganz besonders bequem. Der eine Arm *cd* wird durch eine Kette mit der äusseren Belegung in leitende Verbindung gebracht, an dem anderen Arme *gf* ist aber eine Kette befestigt, welche an die eine Kugel eines der in §. 51 beschriebenen Auslader angehängt wird. Wenn man den Funken durchschlagen lassen will, so nähert man die andere Kugel des Ausladers rasch dem Knopfe der Flasche.

Fig. 153.



Schlechte Leiter, welche den Weg des Entladungsschlages unterbrechen, werden, wenn die Anhäufung der Elektricität bedeutend genug ist, zertrümmert oder durchlöchert. Eine Holzscheibe z. B., welche 6 bis 10 cm Durchmesser hat und 5 bis 10 mm dick ist, wird von dem Entladungsschlage durchbohrt. Ebenso ein oder mehrere Kartenblätter, Pappendeckel etc. Um den Versuch zu machen, werden die Kugeln *d* und *f* des Henley'schen Ausladers ab- und statt dessen Metallspitzen

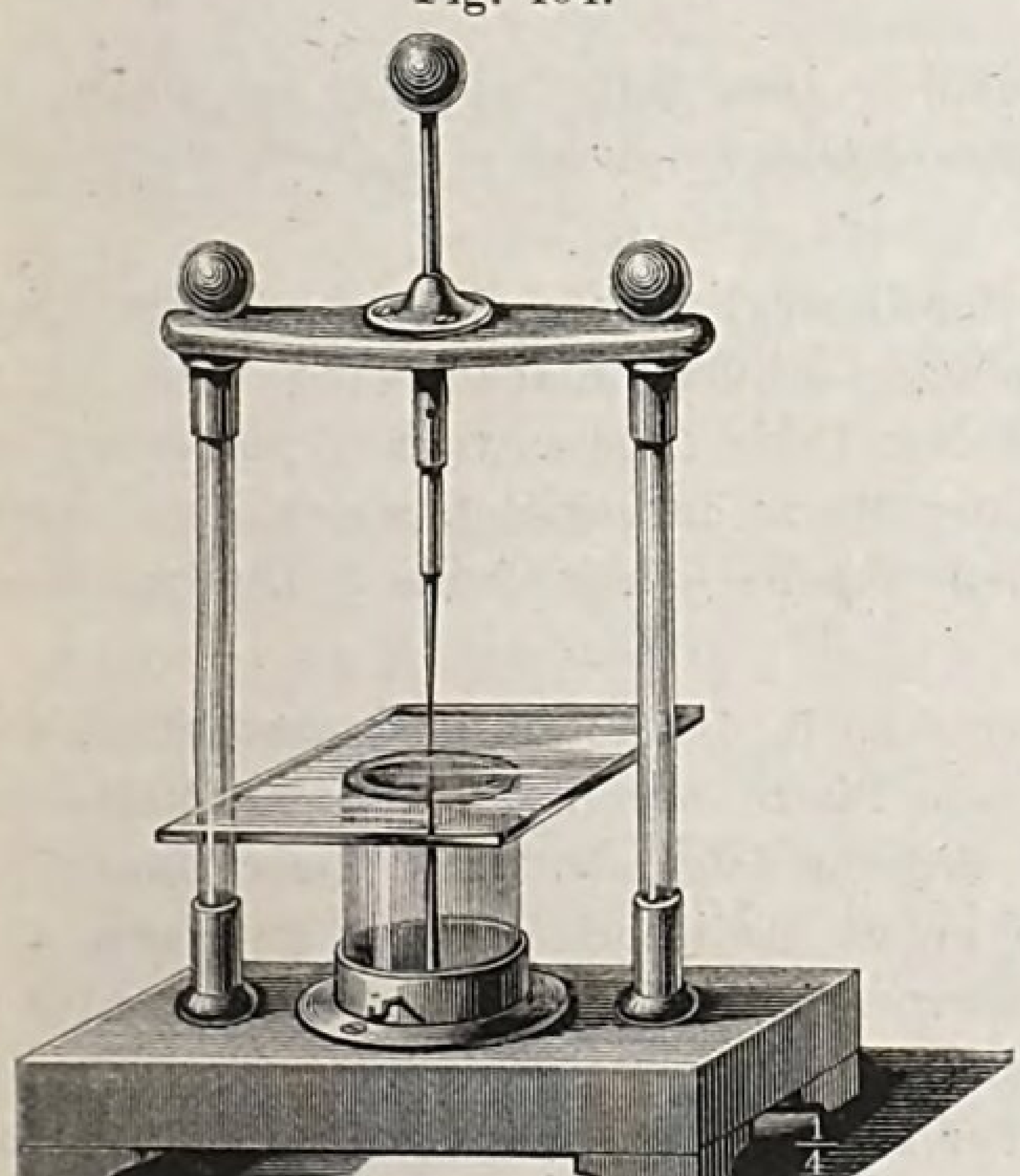
angeschraubt. Zwischen diese beiden Spitzen wird nun der zu durchschlagende Körper eingeschoben und die Spitzen dann soweit genähert, dass sie ihn berühren.

Wenn ein Kartenblatt so zwischen die Spitzen des Henley'schen Ausladers gestellt wird, dass die Spitzen nicht genau einander gegenüber-, sondern so, dass die Punkte, in welchen sie das Kartenblatt berühren, 2 bis 3 cm auseinanderstehen, so wird es stets an der negativen Spitze durchbohrt. Die Ränder der Oeffnung sind nach beiden Seiten in die Höhe gerissen (der Lullin'sche Versuch). Im Vacuum bildet sich nach Tremery die Oeffnung stets in der Mitte zwischen den beiden Spitzen.

Ueber die Erklärung des Lullin'schen Versuchs findet man Näheres in dem später folgenden Paragraphen über die Lichtenberg'schen Figuren.

Um eine Glasplatte zu durchschlagen, muss man dafür sorgen, dass die Elektricität möglichst an einem Punkte concentrirt werde; die Glasplatte muss deshalb zwischen zwei einander genau gegenüberstehenden leitenden Spitzen befestigt sein. Man kann zu diesem Zwecke den Apparat Fig. 154 anwenden. Die Glasplatte wird, wenn sie in den Apparat eingesetzt ist, mit einer dünnen Oelschicht übergossen, weil sonst der Funke leicht um das Glas herumschlägt.

Fig. 154.



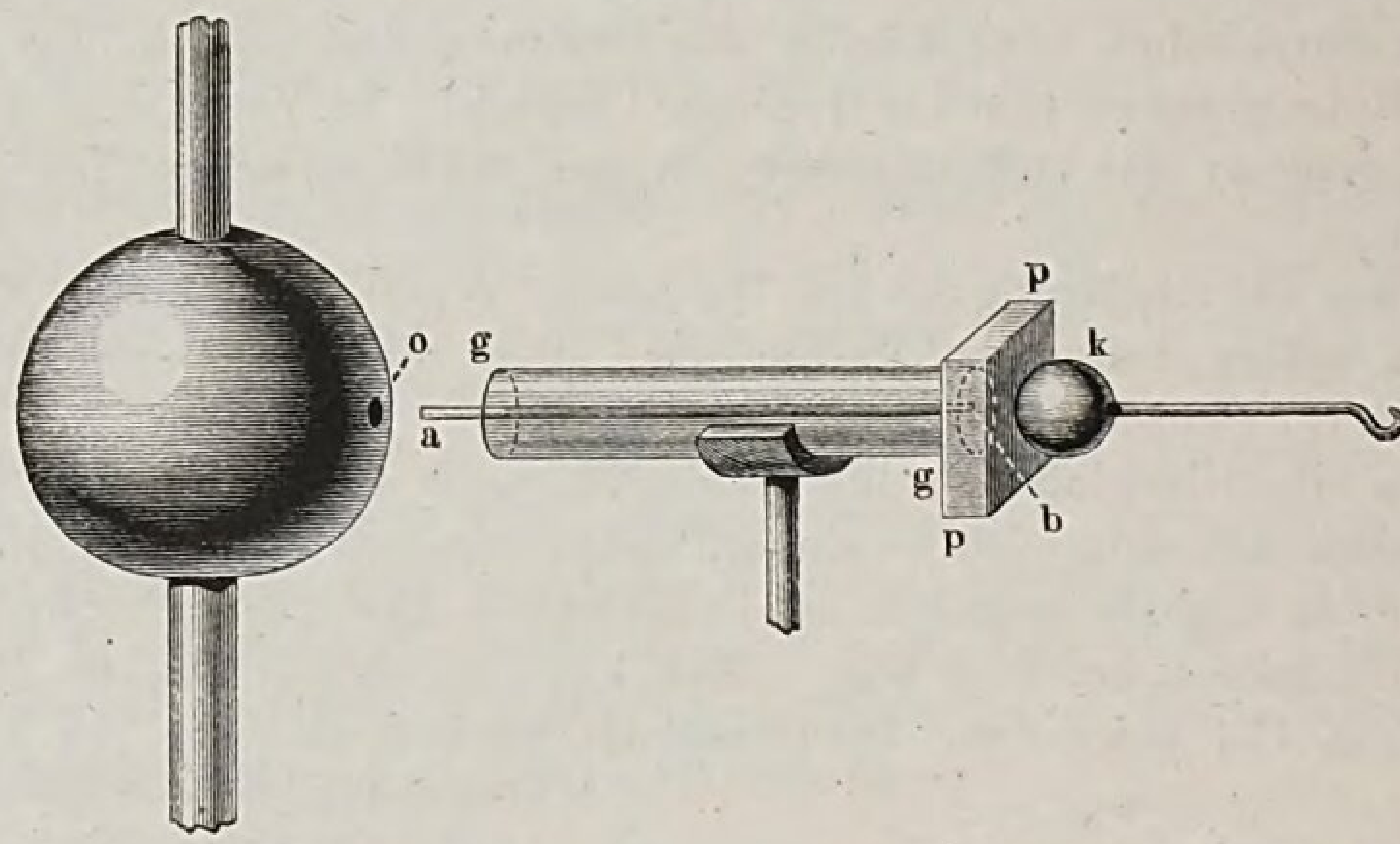
Beim Durchschlagen des Glases kommt es mehr auf hohe Spannung als auf grosse Menge der Elektricität an, der Versuch gelingt deshalb am besten mit einer Flasche von etwas dickem Glase.

Ja, der einfache Funke des Conductors einer kräftigen Elektrisirmaschine ist, wie Holtz neuerdings gezeigt hat, zum Durchbohren dickerer Glasplatten wirksamer als der Entladungsschlag der Leydener Flasche, eben weil die Dichtigkeit der freien Elektricität auf dem Conductor grösser ist als in der Leydener Flasche.

Um dickere Glasplatten zu durchbohren, ist vor allen Dingen nöthig, die Spitze, von welcher aus die Durchbohrung stattfinden soll möglichst gut zu isoliren. Man kann zu diesem Zwecke dieselbe Vorrichtung gebrauchen, welche Ruhmkorf anwandte, um dicke Glasplatten durch den Funken seines Inductionsapparates zu durchbohren

und welchen wir später noch werden kennen lernen; noch zweckmässiger aber ist die Holtz'sche durch Fig. 155 erläuterte Vorrichtung. Längs der Axe eines sonst massiven Glascylinders *g g* läuft eine ungefähr 1 mm weite Höhlung, in welche ein Stahlstäbchen *a b* eingeschoben wird, welches so dick ist, dass es sich eben noch leicht in der Höhlung des Glas-

Fig. 155.



cylinders verschieben lässt. Auf der einen Seite bei *b* ist der Draht zugespitzt und gehärtet. Die äussere Glaswand ist mit einem durchsichtigen Firniss überzogen.

An der einen Seite muss der Glascylinder vollkommen eben abgeschliffen sein, und auf diese plangeschliffene Fläche wird dann die zu durchbohrende Glasplatte, nachdem beide Stücke vorher vorsichtig erwärmt worden sind, mittelst einer Masse aufgekittet, welche man durch Zusammenschmelzen von 1 Theil Schellack mit 2 bis 3 Theilen venetianischem Terpentin erhält.

Der Stahldraht wird natürlich so in die Höhlung eingeschoben, dass die Spitze *b* die zu durchbohrende Platte berührt. Die zweckmässigste Anordnung des Versuchs ist alsdann folgende. Der Glascylinder *g g* wird in horizontaler Lage von einem isolirenden Stativ getragen und das aus dem Glascylinder *gg* hervorragende Ende *a* des Stahldrahtes in eine Höhlung *o* des Conductors der Elektrisirmaschine so eingeschoben, dass der Draht die Wandung der Höhlung berührt. Sollte in dem Conductor keine solche Höhlung vorhanden sein, so muss bei *a* eine Metallkugel an den Draht angesetzt und diese dann mit dem Conductor in Berührung gebracht werden.

Auf die äussere Fläche der Glasplatte *p p* wird dann, gerade der Spitze *b* gegenüber, eine Messingkugel *k* aufgesetzt, welche mit dem Boden in gut leitender Verbindung steht.

Wenn man mit einer Winter'schen Maschine experimentirt, muss man, um kräftigere Funken zu erhalten, den in §. 39 besprochenen Holz-

ring auf den Conductor aufsetzen, von welchem in Fig. 155 der unterste Theil sichtbar ist.

Nach gehöriger Aufstellung der oben beschriebenen Vorrichtung bedarf es nur weniger Umdrehungen der Scheibe, um einen die Glasplatte durchbohrenden Funken zu erzeugen.

Mit einer Elektrisirmaschine, welche in Luft 8, 16, 32 cm lange Funken giebt, kann man $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, 4 cm dicke Glasplatten durchschlagen. Die Wanddicke des Glascylinders *gg* muss jedenfalls grösser sein, als die Dicke der zu durchschlagenden Glasplatte. Der Glascylinder ist ungefähr 5 mal so lang als sein Durchmesser.

Der Weg, welchen der Entladungsfunken durch das Glas nimmt, ist keineswegs geradlinig, sondern eigenthümlich gezackt, wie man dies auch bei längeren elektrischen Funken in der Luft wahrnimmt; auch bildet er nicht einfach eine glattwandige Röhre, sondern ringsum ist das Glas aufgerissen, so dass das durchgeschlagene Loch ungefähr aussieht, wie ein weisser Zwirnsfaden, an den sich ringsum glänzende Krystallflitterchen angesetzt haben.

A. v. Waltenhofen hat gezeigt (Dingl. polyt. Journ. Bd. 179 und Wien. Akad. Ber. Bd. LXXIX), dass bei Glasplatten von 1 bis 2 mm Dicke die Durchbohrung durch Auftropfen von Stearin wesentlich erleichtert werden kann. Dabei zeigen sich noch insbesondere folgende interessante Erscheinungen. Bringt man eine Glasplatte, deren eine Seite mit einem aufgetropften Stearinringe von einigen Centimetern Durchmesser versehen ist, zwischen die Spitzen zweier in einer Linie liegenden Elektroden, so erfolgt bei der Entladung einer Leydener Flasche oder des Funkenstromes der Influenzmaschine eine einzige Durchbohrung am inneren Rande des Stearinringes, also nicht zwischen den Spitzen. Stellt man dagegen die Elektrodenspitzen gleich weit vom Centrum entfernt senkrecht auf einen Durchmesser des Stearinringes, so folgt bei genügend starker Entladung in der Regel eine Anzahl von Durchbohrungen und zwar wiederum am Innenrande des Ringes. Es wurden manchmal bis zu 15 Durchbohrungen gezählt.

Bringt man auf die Glasplatte ein kleines Stearintröpfchen und hält dieselbe zwischen die einige Centimeter von einander entfernten kugelförmigen Elektroden der Influenz- oder gewöhnlichen Elektrisirmaschine, so erfolgt, falls der Rand nicht zu nahe ist, eine Durchbohrung an der Stelle des Fleckes. Der Versuch gelingt auch mit dem continuirlichen Funkenstrome der Influenzmaschine. Auffallender Weise gelingt er aber viel sicherer, wenn der Stearinfleck der positiven Elektrode zugekehrt ist. Diesen Versuchen A. v. Waltenhofen's reihen sich einige Modificationen von E. Mach und S. Doubrava (Wien. Akad. Ber. Bd. LXXVIII) an. Bringt man z. B. an beiden Seiten der Glastafel excentrisch gelegene Stearinringe an, und setzt die Elektroden auf die Mitten der Ringe, so erfolgt die Durchbohrung an einer Durchschneidungsstelle der beiden Ringe. Berühren sich die Innenränder der excentrischen

Kreise, so erfolgt dort die Durchbohrung. Wie Stearin wirken auch Wachs und Paraffin.

Die Erklärung beruht darauf, dass die Stearinoberfläche, wohl wegen der abweichenden Beschaffenheit der Luftschichten auf derselben, ein besserer Isolator ist, als die Glasoberfläche. Wie bei einem Plattencondensator muss auch hier die Spannung am Rande der unbedeckten Glasfläche, also am Innenrande des Stearinringes am grössten sein und daher dort die Durchbohrung stattfinden. Wegen der schwierigen Erklärung der mehrfachen Durchbohrungen bei excentrischer Stellung sehe man die zuletzt citirte Stelle.

Durch die v. Waltenhofen'sche Entdeckung werden, wenigstens für dünne Glasplatten, die früher beschriebenen complicirten Vorrichtungen entbehrlich gemacht.

Wenn man die Elektricität in einer Flüssigkeit überschlagen lässt, so erscheint ebenfalls ein Funke; auch das Knacken wird gehört, fast

Fig. 156.



$\frac{3}{4}$

Fig. 157.



Fig. 158.

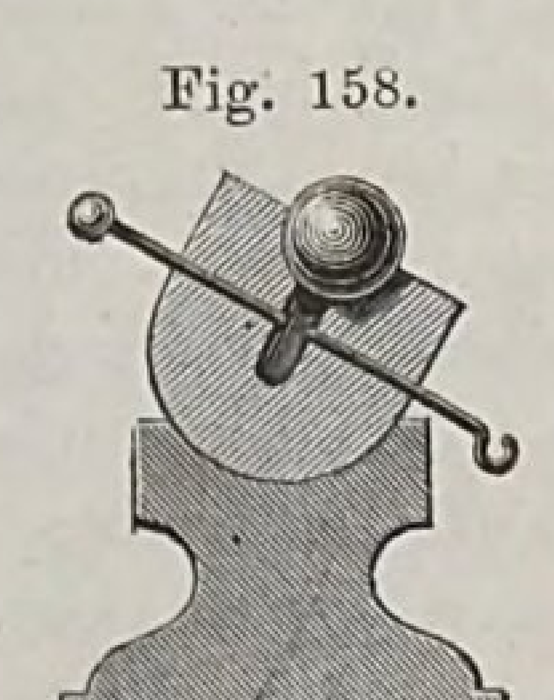
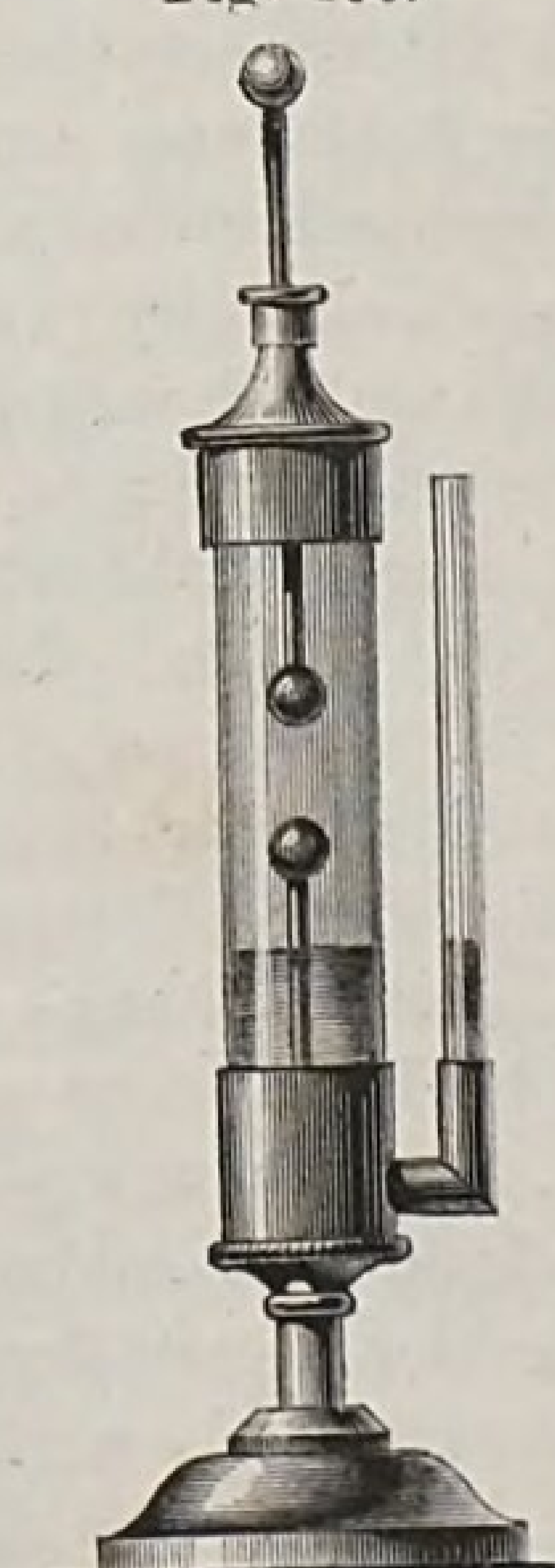


Fig. 159.



immer aber wird die Flüssigkeit mit grosser Gewalt aus einander geschleudert. Wenn man eine Glasröhre mit Wasser füllt und sie an beiden Enden mit Korkstopfen verschliesst, durch welche die Zuleitungsdrähte hindurchgehen, wie es Fig. 156 erläutert, so wird die Röhre durch den Entladungsschlag in der Regel zertrümmert.

Selbst offene mit Wasser gefüllte Glasgefässe werden oft zersprengt, wenn ein kräftiger Entladungsschlag zwischen zwei Metallkügelchen im Wasser übergeht. Eine dazu taugliche Vorrichtung ist Fig. 157 dargestellt.

In Gasen bringt der Entladungsschlag eine so grosse und plötzliche Expansion hervor, dass sie eine kleine Kugel mit Hilfe des elektri-

schen Mörsers, Fig. 158, fortschleudern kann. Kinnersley, welcher zuerst diese Erscheinung beobachtete, construirte auch einen Apparat, um ihre Intensität zu bestimmen. Kinnersley's Thermometer ist Fig. 159 abgebildet und wohl schon aus der Figur ohne weitere Erklärung verständlich; wenn zwischen den beiden Kugeln im Inneren des weiteren Glasrohres ein Funken überschlägt, steigt die Flüssigkeit in der seitlichen Röhre. Die Höhe des Steigens ist ein Maass für die Expansion des Gases. Dieser Versuch gehört streng genommen zu den im nächsten Paragraphen besprochenen thermischen Wirkungen.

Thermische Wirkungen der elektrischen Entladung. 59
Wenn man die Kugeln *d* und *f* des Ausladers Fig. 153 durch einen sehr dünnen Eisendraht verbindet, so wird dieser erwärmt, wenn ein schwacher Schlag hindurchgeht; eine stärkere Ladung macht ihn rothglühend und eine noch stärkere macht, dass er in einzelnen geschmolzenen Kügelchen auseinanderfährt, die weithin fortgeschleudert werden.

Ein schmaler Streifen Zinnfolie, welcher 5 bis 10 cm lang ist, wird durch den Entladungsschlag einer gewöhnlichen Batterie verflüchtigt, der Dampf oxydirt sich und bildet lange, in der Luft schwebende, Spinnengeweben ähnliche Fäden.

Auch andere Metalle werden auf diese Weise erhitzt, glühend gemacht, geschmolzen und oxydirt; wenn man sie aber von gleicher Länge und von gleichem Durchmesser nimmt, so bringt dieselbe Ladung nicht denselben Effect hervor. Die schlechteren Leiter, wie Platin und Eisen, werden bei gleichen Dimensionen weit stärker erwärmt, als Gold und Kupfer, welche bessere Leiter sind.

Mit Gold übersponnene Seidenfäden bieten eine eigenthümliche Erscheinung dar. Das Gold, welches sie bedeckt, wird verflüchtigt und oxydirt, ohne dass die Seide auch nur zerrissen worden wäre. Um diesen Versuch recht deutlich zu machen, hält man an den Faden ein Stück weissen Papiers, auf welchem man nach dem Schlage einen breiten Streifen von brauner Farbe sieht.

Brennbare Flüssigkeiten kann man mit Hilfe der Leydener Flasche weit sicherer entzünden als mit dem directen Funken vom Conductor der Maschine. Selbst gepulvertes Colophonium auf Baumwolle gestreut lässt sich durch den Entladungsfunken der Leydener Flasche entzünden.

Ueber die Entzündung des Schiesspulvers werden wir im folgenden Paragraphen Näheres mittheilen.

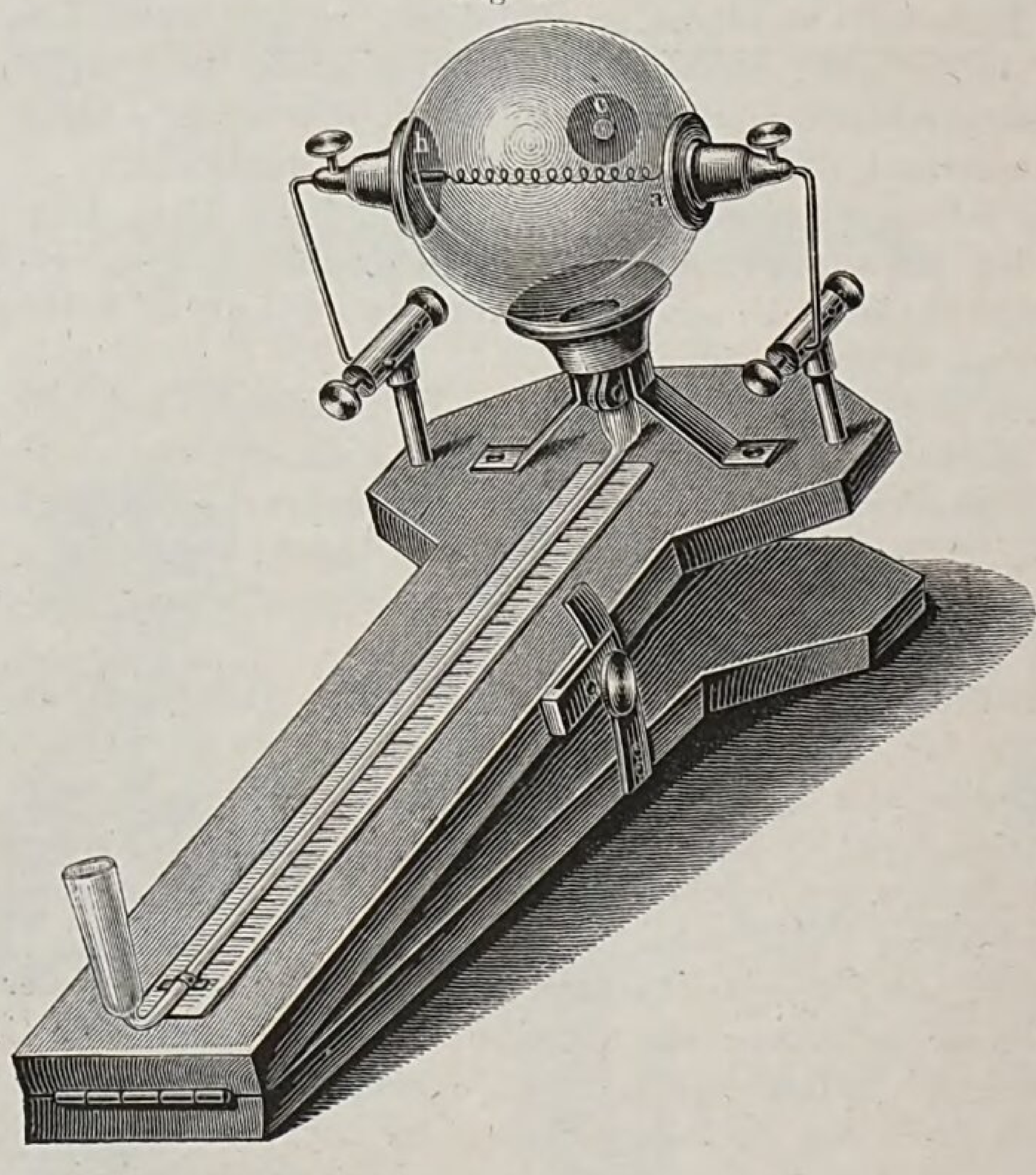
Um die Gesetze der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsschlag zu ermitteln, wandte Riess, wie schon früher Harris, ein Luftthermometer an, durch dessen Kugel ein dünner Platindraht hindurchging, welcher in den Weg des Entladungsschlages eingeschaltet wurde.

Fig. 160 (a. f. S.) stellt ein Riess'sches elektrisches Luftthermometer in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse dar. Die Glaskugel, welche ungefähr 8 cm im

Durchmesser hat, ist an drei Stellen durchbohrt. Die Oeffnungen bei *a* und *h* stehen einander diametral gegenüber und sind mit durchbohrten Metallfassungen versehen, zwischen welchen der Platindraht ausgespannt wird; die dritte Oeffnung *c* ist ebenfalls mit einer Metallfassung versehen, deren Oeffnung durch einen Messingstöpsel verschlossen ist. Durch Oeffnen dieses Stöpsels unmittelbar vor dem Versuch kann man die Luft im Inneren der Kugel mit der äusseren ins Gleichgewicht setzen, worauf dann der Stöpsel wieder eingesetzt wird.

Der in der Kugel befindliche spiralförmig gewundene Platindraht hatte bei den meisten Riess'schen Versuchen eine Länge von 13 cm und einen Durchmesser von nahe 0·08 mm.

Fig. 160.



An die Kugel ist eine Glasröhre von ungefähr 1 mm Weite im Lichten angeschmolzen, welche auf einem mit einer Theilung versehenen Brette befestigt ist und mit einem trichterförmigen Gefässe endigt. Man kann die Röhre nach Belieben mehr oder weniger stark gegen die Horizontale neigen.

Giesst man in das trichterförmige Gefässchen eine gefärbte Flüssigkeit, etwa gefärbtes Wasser, so wird es bis zu einer gewissen Stelle in der Röhre aufsteigen. Wenn nun, nachdem alles im Gleichgewicht ist,

die Oeffnung bei c wieder geschlossen wird, so ist die Luft in der Kugel vollständig abgesperrt. Geht ein Entladungsschlag durch den Platindraht, so wird er erwärmt, er theilt diese Wärme der Luft in der Kugel mit, sie wird ausgedehnt und treibt die Flüssigkeit in der Röhre um so weiter herab, je stärker die Erwärmung war. Diese Depression ist also ein Maass für die Erwärmung, welche durch den Entladungsschlag im Platindrahte bewirkt wird.

Der Apparat ist so eingerichtet, dass man ihn bequem in den Schliessungsbogen der Batterie einschalten kann. In dieser Beziehung bedarf jedoch die Figur keiner weiteren Erläuterung.

Eine Versuchsreihe mit diesem Apparat gab unter anderen die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate:

s	2	4	6
q	h	h	h
2	3·0	—	—
4	13·4	6·4	5·2
6	26·8	14·6	11·0
8	—	28·2	18·6

In der obersten Horizontalreihe steht die Anzahl s der angewandten Flaschen, in der ersten Verticalreihe die angewandten Elektricitätsmengen q, gemessen durch die Zahl der Entladungsfunken der Maassflasche. Die entsprechenden Depressionen h des Thermometers sind in Millimetern ausgedrückt. Als z. B. die Elektricitätsmenge 4 auf 2 Flaschen vertheilt war, erhielt man die Depression 13·4 mm. Dieselbe Elektricitätsmenge auf 4 und 6 Flaschen vertheilt, gab nur die Depression 6·4 und 5·2. Bei gleicher Ladung verhält sich also die entwickelte Wärmemenge nahezu umgekehrt wie die Grösse der Oberfläche, auf welche sie vertheilt wird.

Verfolgen wir nun eine Verticalreihe der Tabelle. Bei Anwendung von 2 Flaschen giebt die Elektricitätsmenge 2 die Depression 3·0. Die doppelte Elektricitätsmenge 4 giebt die Depression 13·4, also ungefähr die vierfache, die dreifache Elektricitätsmenge 6 giebt die Depression 26·8, also die neunfache Wirkung. Bei unveränderter Oberfläche der Batterie verhält sich also die Erwärmung im Platindraht wie das Quadrat der Elektricitätsmenge, oder es ist

$$h = n \frac{q^2}{s},$$

wenn h die Depression der Flüssigkeitssäule, q die durch Funken der Maassflasche gemessene Ladung der Batterie und s die Anzahl der (unter

sich gleichen) Flaschen bezeichnet, welche zur Batterie vereinigt sind. n ist ein constanter Factor, für welchen sich aus der obigen Versuchsreihe der Mittelwerth 1·76 ergiebt.

Riess fand ferner, dass die Temperaturerhöhungen verschiedener gleich langer Drähte desselben Metalls sich umgekehrt verhalten wie die Biquadrate ihrer Halbmesser oder mit anderen Worten, dass die Temperaturerhöhungen den Quadraten der Querschnitte umgekehrt proportional sind. In einem 2 mal, 3mal etc. dickeren Drahte wird also derselbe Entladungsschlag eine 16 mal, 81 mal etc. geringere Temperaturerhöhung hervorbringen; da aber die Massen dieser Drähte 4 mal, 9 mal grösser sind, so ist klar, dass die in denselben frei werdende Wärmemenge 4 mal, 9 mal etc. geringer ist als in einem Drahte von einfacher Dicke. Ist also a die Wärmemenge bei einem Drahte von der Dicke 1, so ist die Wärmemenge w in einem Drahte von der Dicke d gegeben durch

$$w = \frac{a}{d^2}.$$

Wenn der Draht in der Thermometerkugel unverändert bleibt, so wird bei Entladung derselben Elektricitätsmenge die Erwärmung des Drahtes in der Kugel um so geringer, je länger man den Schliessungsbogen macht und je dünnere Drähte man in denselben einschaltet.

Um den Einfluss der Verlängerung des Schliessungsbogens zu untersuchen, schaltete Riess mittelst des Henley'schen Ausladers der Reihe nach verschieden lange Stücke desselben Kupferdrahtes in den Schliessungsbogen ein, während im Thermometer stets derselbe Platindraht blieb. Mit jeder Einschaltung wurde nun eine Versuchsreihe in der Art gemacht, wie die auf voriger Seite angeführte. Wir wollen die Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes (welcher nahe 0·6 mm dick war) mit λ bezeichnen.

Für $\lambda =$ 0 m ergab sich $h = 1{\cdot}56\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda =$ 3·03 „ „ „ $h = 1{\cdot}38\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda =$ 15·48 „ „ „ $h = 0{\cdot}96\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda =$ 31·09 „ „ „ $h = 0{\cdot}68\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda =$ 46·67 „ „ „ $h = 0{\cdot}54\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda =$ 77·86 „ „ „ $h = 0{\cdot}42\,\frac{q^2}{s}$.

Wir sehen aus dieser Zusammenstellung, dass die Erwärmung mit zunehmender Länge des Einschaltungsdrahtes für gleiche Werthe von $\frac{q^2}{s}$ fortwährend abnimmt.

Die Werthe von h sind offenbar den Factoren von $\frac{q^2}{s}$ proportional. Für $\frac{q^2}{s} = 1$ besteht zwischen h und λ folgende Beziehung:

$$h = \frac{1{\cdot}56}{1 + 0{\cdot}041\,\lambda} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Für $\lambda = 0$ giebt diese Gleichung $h = 1{\cdot}56$; für $\lambda = 15{\cdot}48$ giebt sie $h = 0{\cdot}95$; für $\lambda = 46{\cdot}67$ giebt sie 0·53 etc., also lauter Werthe, die mit den oben mitgetheilten Beobachtungsresultaten sehr gut stimmen, so dass wir diese Gleichung wirklich für den Ausdruck der Beziehung zwischen h und λ nehmen können.

Die Gleichung 1) auf allgemeine Form gebracht, heisst

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda},$$

woran Riess folgende Betrachtung anschliesst.

Durch Verlängerung des Schliessungsbogens wird die Erwärmung vermindert. Schaltet man nun aber statt eines Metalldrahtes ein Stück feuchten Holzes oder eine mit Wasser gefüllte Glasröhre als Zwischenleitung ein, so sind die stärksten Ladungen der Batterie nicht mehr im Stande, auch nur eine Senkung von 0·2 mm zu bewirken. Hier aber ist die Entladung der Batterie nicht mehr momentan, wie bei der Einschaltung des längsten Kupferdrahtes, sie erfordert eine wahrnehmbare Zeit. Daraus lässt sich schliessen, dass wir auch einen Unterschied in der Entladungszeit beobachten würden, je nachdem ein kurzer oder ein langer Kupferdraht eingeschaltet ist, wenn wir mit schärferen Sinnen begabt wären. Die Erwärmung des Platindrahtes im Thermometer scheint mit der Zeit, welche die Entladung dauert, im einfachen umgekehrten Verhältniss zu stehen. Ist eine Erwärmung a beobachtet worden, indem eine gewisse Elektricitätsmenge von gewisser Dichtigkeit in der Zeit 1 entladen wurde, so wird die Entladungszeit um $b\lambda$ vergrössert, wenn ein Draht von der Länge λ eingeschaltet wird, und die Erwärmung ist nun

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda},$$

oder die Erwärmung eines Drahtes durch die Entladung der elektrischen Batterie ist der Dauer der Entladung umgekehrt proportional; die Dauer der Entladung wird durch Verlängerung des Schliessungsdrahtes um eine Zeit verzögert, welche der zugesetzten Drahtlänge proportional ist.

Wenn in den Schliessungsbogen der Reihe nach mittelst eines Henley'schen Ausladers gleich lange und gleich dicke Drähte verschiedener Metalle eingeschaltet werden, so wird durch Entladung gleicher Ladungen der Batterie der Draht in der Thermometerkugel sehr ungleiche Erwärmungen erfahren, die eingeschalteten Drahtstücke verzögern also die Entladung nicht gleich stark. Hat man einmal einen Kupferdraht, dann einen Platindraht von gleicher Länge und Dicke eingeschaltet, so wird für den Kupferdraht eine stärkere Erwärmung in der Thermometerkugel wahrgenommen werden; wenn man aber bei gleicher Dicke den Platindraht im Auslader 6·44 mal kürzer macht als den Kupferdraht, so beobachtet man unter sonst gleichen Umständen für beide eine gleiche Temperaturerhöhung des Platindrahtes in der Thermometerkugel; ein Platindraht verzögert also die elektrische Entladung gerade eben so stark, wie ein gleich dicker 6·44 mal längerer Kupferdraht, das Platin hat also eine 6·44 mal stärkere Verzögerungskraft als das Kupfer, oder auch die Leitungsfähigkeit des Platins ist 6·44 mal geringer als die des Kupfers.

Riess hat den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Metalle durch zahlreiche Versuche ermittelt, welche sich auf das eben angedeutete Princip stützen. Wir werden weiter unten ausführlicher davon reden.

Als im Thermometer sich ein Platindraht von 118 mm Länge und 0·082 mm Radius, im Auslader aber ein Kupferdraht von 284 mm Länge und 0·084 mm Halbmesser befand, gab eine der obigen ähnliche Beobachtungsreihe

$$h = 3{\cdot}02 \frac{q^2}{s}.$$

Wurden nun die Drähte vertauscht, so dass der Kupferdraht im Thermometer, der Platindraht aber im Auslader war, so kam

$$h = 0{\cdot}92 \frac{q^2}{s}.$$

Derselbe Entladungsschlag bringt also in beiden Drähten sehr ungleiche Erwärmungen hervor. Aus diesen und ähnlichen mit anderen Metallen angestellten Versuchen gelangte Riess, alle hier influirenden Umstände in Rechnung ziehend, zu dem Resultat, dass die durch den elektrischen Entladungsschlag caeteris paribus in den Drähten frei werdende Wärmemenge der verzögernden Kraft dieser Metalle proportional ist.

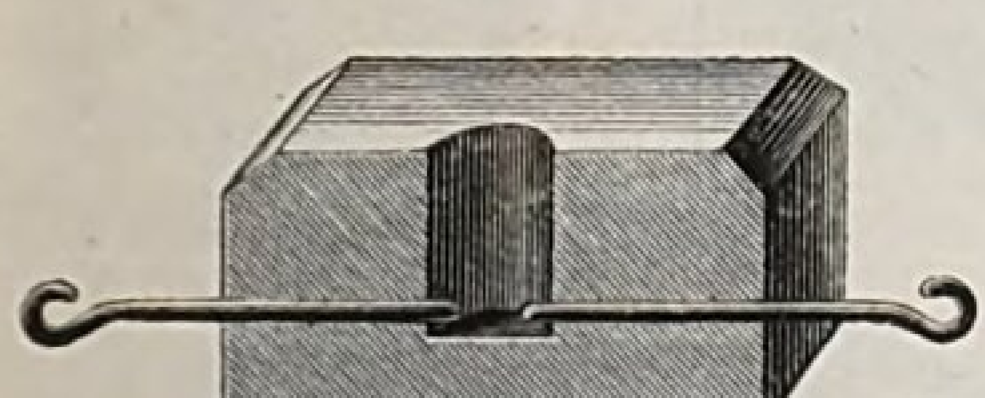
Es sind schon oben im Allgemeinen die Wirkungen angeführt worden, welche ein starker Entladungsschlag hervorbringt, wenn er durch einen dünnen Metalldraht hindurchgeführt wird. Auch diese Effecte hat Riess einer genaueren Prüfung unterworfen und hat gezeigt, dass die Schmelzung nicht eine directe Wirkung der Erwärmung durch den Entladungsschlag sein kann. Von seinen Beobachtungen der Temperaturerhöhung etwas dickerer Drähte für schwächere Ladungen ausgehend, konnte Riess

die Temperaturerhöhung eines dünnen Drahtes bei stärkerer Ladung berechnen, es ergab sich durch diese Rechnung 211° für die Temperaturerhöhung eines Platindrahtes bei einem Entladungsschlage, welcher den Draht schmolz. Eine solche Temperatur ist aber nicht zum Glühen, viel weniger zum Schmelzen des Platins hinreichend; das Metall schmilzt schon, ehe es durch Steigerung seiner Temperatur schmelzen würde; in der Schmelzung erkennt deshalb Riess eine elektrische Wirkung, die von der Erwärmung durch Elektricität getrennt ist.

Bei fortgesetzter Steigerung der Ladung treten noch vor dem Eintreten des Glühens eine Reihe von Erscheinungen am Drahte auf, welche auf ein gewaltsames Eindringen, auf eine mechanische Wirkung der Elektricität hindeuten. Der Draht wird sichtbar erschüttert, es treten kleine Funken an seinen Enden auf, es werden von seiner Oberfläche Theilchen losgerissen, die sich in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm erheben, der Draht erhält scharfe Einbiegungen, die mit der Stärke der Ladung an Zahl und Stärke zunehmen, endlich bei immer mehr gesteigerter Ladung wird er rothglühend, weissglühend, er wird zerrissen und zersplittert. Bei Platindrähten zeigen die Stücke oft noch keine Schmelzung, die erst bei noch stärkeren Ladungen auftritt; die Zerreissung geht also der Schmelzung voran. Bei leicht oxydirbaren Metallen steigert sich die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerstoff, und diese erhöhte Temperatur erleichtert dann auch die Schmelzung. Ueberall, wo die elektrische Schmelzung eintritt, ist eine mechanische Trennung der geschmolzenen Masse sichtbar, die Schmelzung kann daher nur als Wirkung der Hitze auf sehr fein zertheiltes Metall betrachtet werden. Die Elektricität schmilzt die Metalle durch gleichzeitige Zersplitterung und Erhitzung.

Anwendung des Entladungsschlages in der Spreng- 60
technik. Die Unsicherheit der Entzündung von Pulverminen mittelst der gewöhnlichen Zündschnüre hat veranlasst, dieselbe durch den Entladungsschlag einer Leydener Flasche zu bewerkstelligen. Um als Vorlesevursuch die Entzündung des Schiesspulvers zu zeigen, wendet man die Vorrichtung Fig. 161 an. In ein Holzklötzchen ist ein Loch von ungefähr $1\frac{1}{2}$ cm Durchmesser und 3 cm Tiefe gebohrt, welches ungefähr zur Hälfte mit Pulver gefüllt wird. Durch zwei seitliche, diametral einander gegenüberstehende Löcher ragen zwei ungefähr 2 mm dicke Messingdrähte in den unteren Theil dieser Höhlung hinein. Der eine dieser aussen etwas umgebogenen Drähte ist mit der äusseren Belegung der Batterie in Verbindung gebracht, während von dem anderen aus eine leitende Verbindung mit der inneren Belegung hergestellt wird. Der Ent-

Fig. 161.



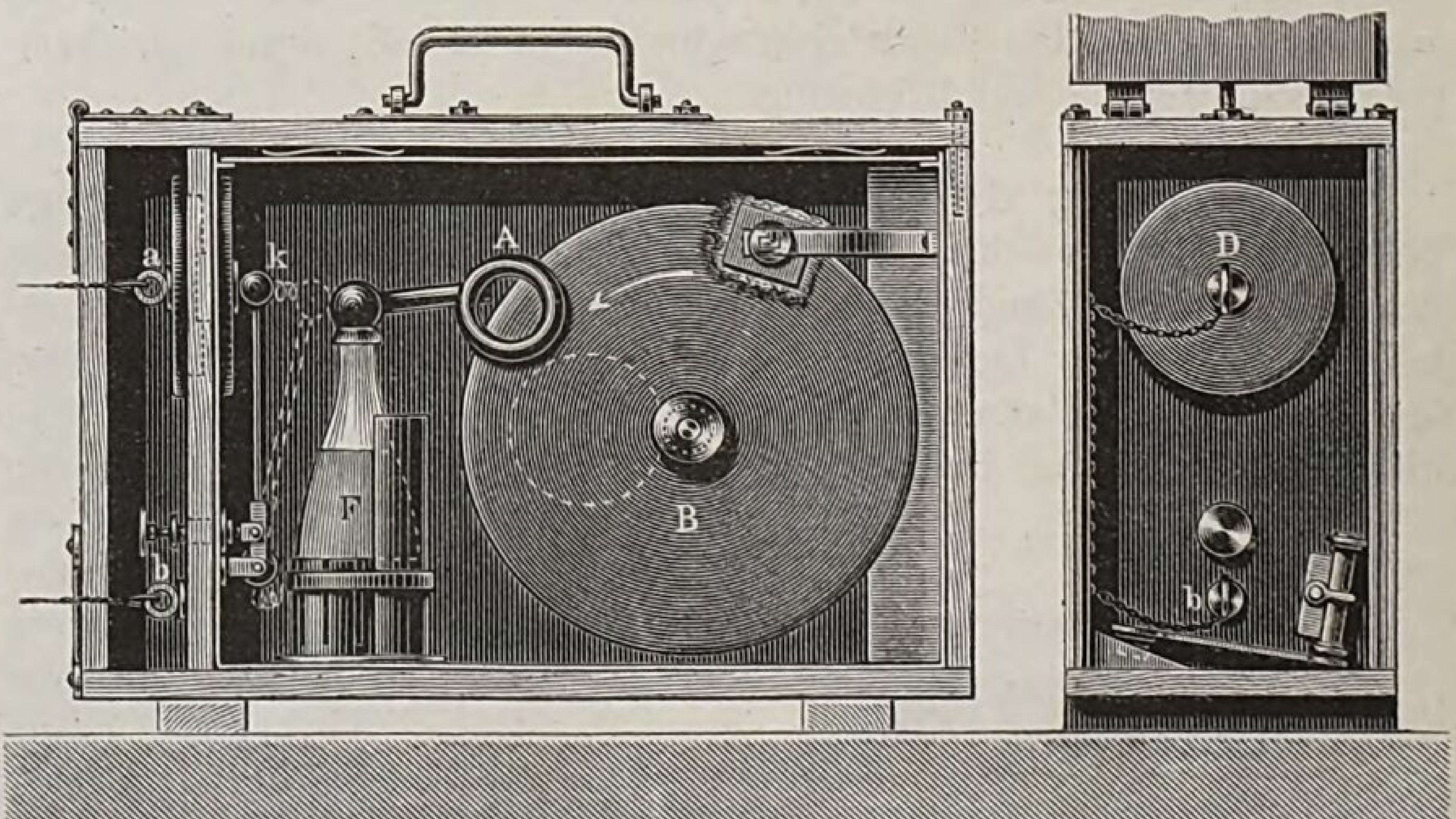
ladungsfunken geht nun in der oben erwähnten Höhlung zwischen den einander gegenüberstehenden Drahtenden über. Zur Entzündung des Pulvers ist nicht nur eine starke Ladung der Batterie, sondern eine Verzögerung der Entladung nöthig, welche dadurch bewirkt wird, dass man an einer beliebigen Stelle eine feuchte Schnur, einen durchnässten Bindfaden, einschaltet. Wenn der ganze Schliessungsbogen metallisch ist, wie gewöhnlich, so wird das Pulver bloss aus einander geworfen und nicht entzündet.

Um schon mit schwächeren Funken Pulver entzünden zu können, braucht man nur die Enden der Drähte, zwischen welchen sie überspringen sollen, mit Knallquecksilber oder noch besser mit chlorsaurem Kali und Schwefelantimon zu bedecken. Der praktischen Anwendbarkeit der Reibungselektricität stand bisher nur die nachtheilige Einwirkung einer feuchten Atmosphäre auf die Wirksamkeit der Elektrisirmaschine entgegen.

Mechanikus Bornhardt in Braunschweig hat eine Zünd-Elektrisirmaschine construirt, welche zum Zünden der Minen für militärische und bergmännische Zwecke bei jeder Witterung, selbst in feuchten Gruben, stets brauchbar ist. Dieselbe ist in Fig. 162 in $\frac{1}{6}$ der natürlichen Grösse im Verticaldurchschnitt und in der Vorderansicht und in Fig. 163 in der äusseren Ansicht dargestellt.

Die Glasscheibe der gewöhnlichen Maschine ist durch eine Scheibe *B* von gehärtetem Kautschuk ersetzt, während das Reibzeug unter

Fig. 162.

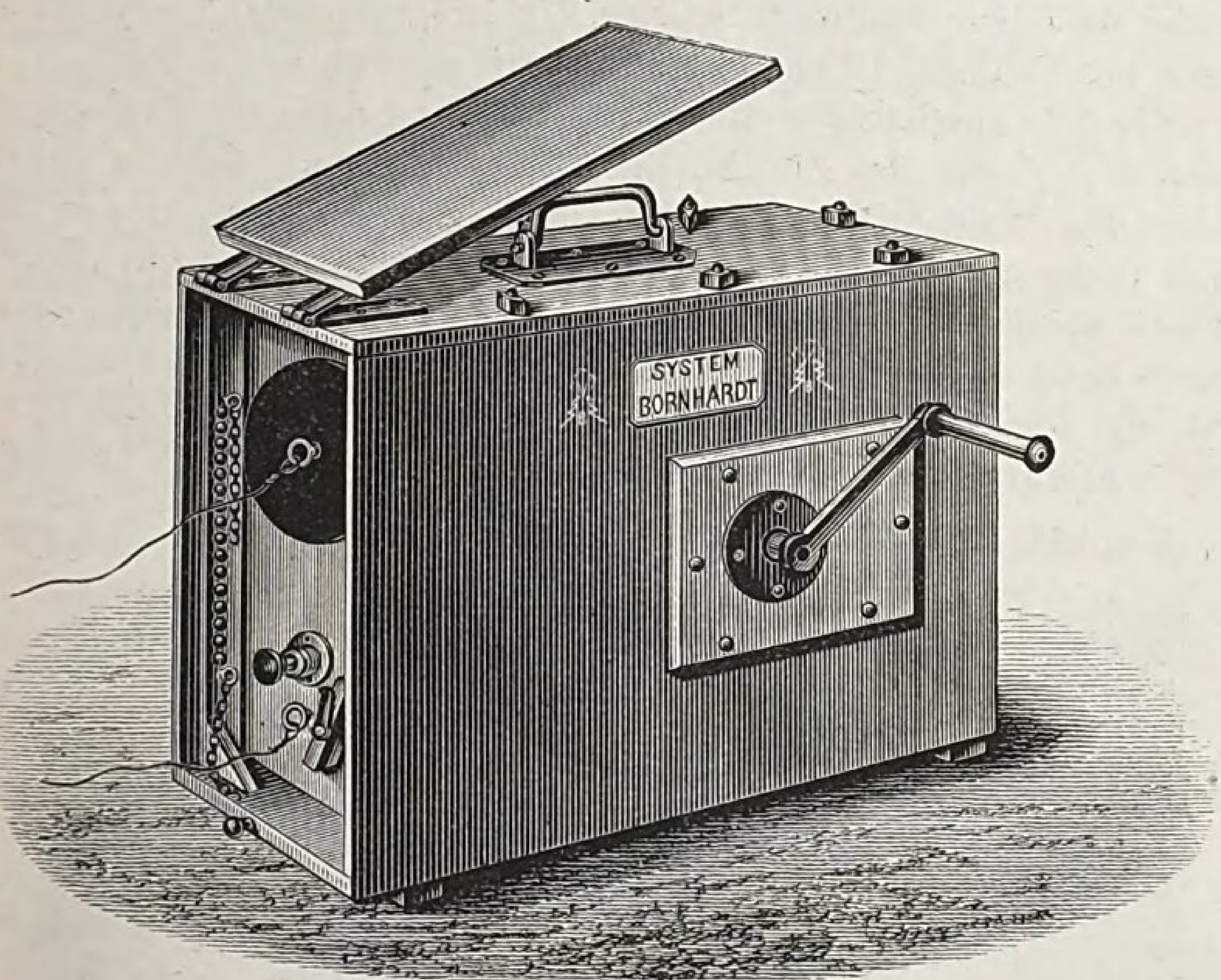


Vermeidung des Amalgams durch eigenthümlich präparirtes Pelzwerk gebildet wird. — Die Saugarme *A* sitzen unmittelbar auf der kleinen Leydener Flasche *F*.

Das Wesentlichste des Apparates beruht aber auf dem luftdichten Verschluss eines die ganze Maschine umgebenden Blechkastens. Oben ist der Blechkasten durch eine Glasplatte mittelst Schrauben hermetisch verschlossen. Das Ganze ist in einen mit amerikanischem Ledertuch überzogenen Holzkasten eingeschlossen.

Die eiserne Axe der Scheibe B geht durch eine Stopfbüchse in der Rückwand des Kastens hindurch, und auf das ausserhalb des Kastens

Fig. 163.



befindliche Ende derselben wird die Kurbel aufgeschraubt, durch welche die Drehung der Scheibe bewirkt wird.

Das Reibzeug, sowie die äussere Belegung der Flasche sind mit dem Blechkasten und also auch mit dem Metallring b in leitender Verbindung, in welchen das eine Ende der zum Zünder führenden Drahtleitung eingehängt wird.

Das andere Ende der Drahtleitung wird an dem Ring a befestigt, welcher mit einem verticalen Messinghebel, der die Kugel k trägt, in leitender Verbindung steht, aber von dem Blechkasten durch eine Platte von gehärtetem Kautschuk isolirt ist.

Um die Mine zu entzünden, werden zuerst die Zuführungsdrähte bei a und b eingehängt, dann erst die Kurbel angesetzt und mehrmals gedreht, hierauf durch Drücken auf den Knopf oberhalb b die Flasche entladen.

Um die erforderliche Ladung und den guten Zustand des Apparates vor dem Gebrauche zu prüfen, schaltet man mittelst der daranhängenden

Kettchen die in der Fig. 163 sichtbare Reihe von Unterbrechungsstellen (eine Reihe abstehender Metallknöpfe) ein, und überzeugt sich, ob der Funke an allen Unterbrechungsstellen überschlägt.

Die Zünder, welche Bornhardt verwendet, um die Explosion der Minen zu bewirken, haben folgende Einrichtung: Auf einen Papierstreifen, welchen Fig. 164 darstellt, ist ein kleiner Stanniolstreifen *cd* aufgeklebt und dann das Ganze bei *a* anfangend so aufgerollt, dass *b* das äussere Ende des so erhaltenen Papiercylinders bildet. Auf diesen Cylinder wird dann das Zündhütchen *g*, Fig. 165, aufgesetzt, die Höhlung des Ganzen mit Knallsatz (2 Theile *Antimonium crudum* mit 7 Theilen chlorsaurem Kali — vorsichtig gemischt!) gefüllt und dann der Papiercylinder andererseits durch das Zündhütchen *h* geschlossen. Der so erhaltene Zünder, Fig. 165, wird nun an einem Holzstäbchen von 15 mm Breite, 11 mm Dicke und je nach Umständen 60 bis 120 cm Länge in der Weise befestigt, wie die Figuren 166 und 167 anschaulich machen, welche uns das unterste Ende des Holzstabes zeigen. Unten wird der Stab etwas eingekerbt, wie Fig. 167 zeigt, in diese Kerbe wird die Sprenghülse *gh* eingelegt und durch zwei ungefähr 0·3 mm dicke ausgeglühte Eisendrähte

Fig. 164.



Fig. 165.

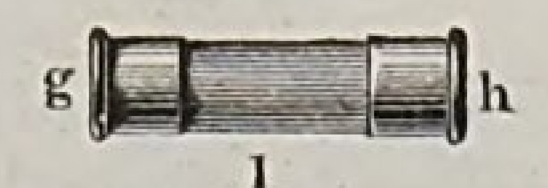


Fig. 166.

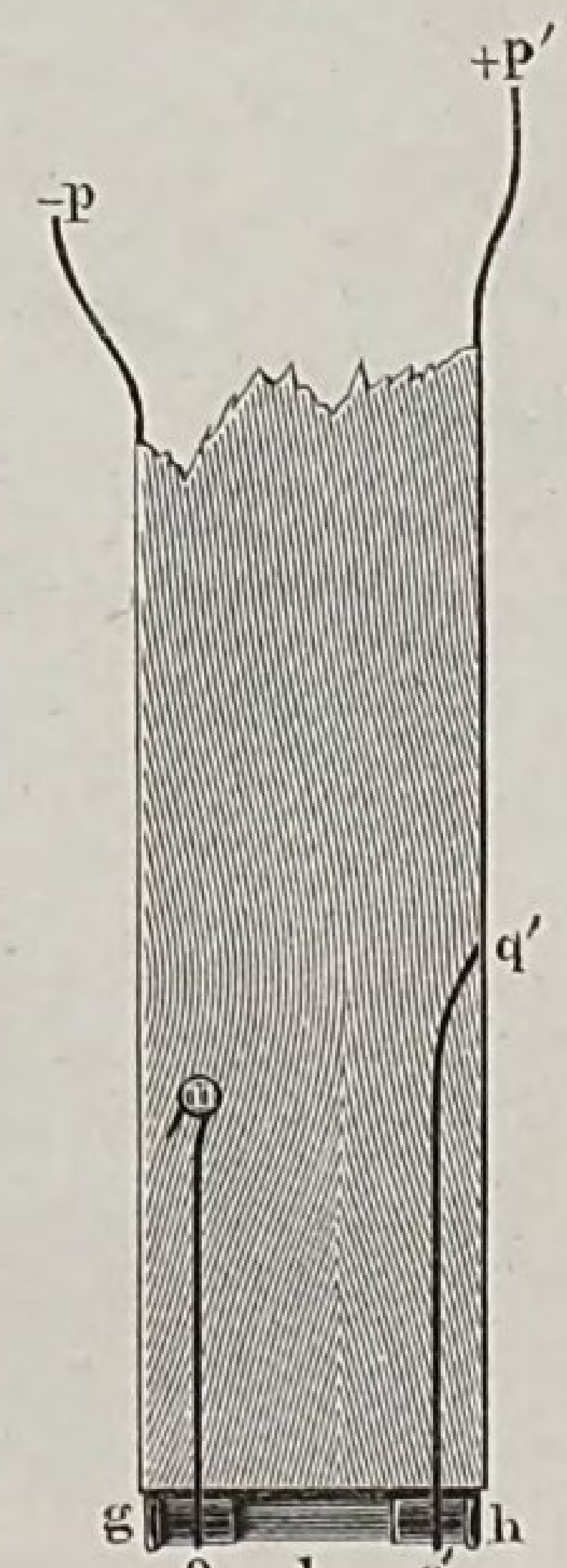


Fig. 167.

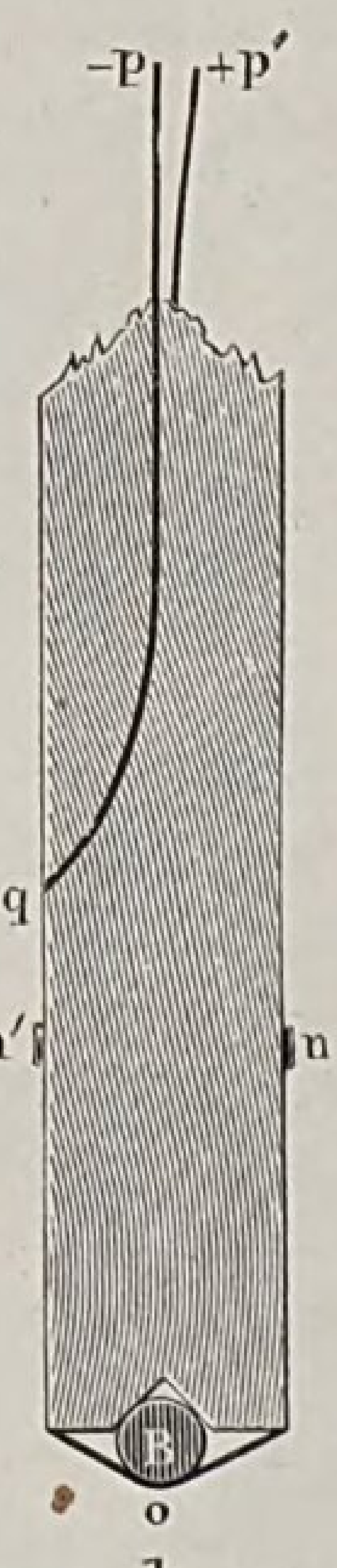


Fig. 168.



noqp und *n'o'q'p'* befestigt, deren eines Ende durch einen kleinen Nagel *n* (und *n'* auf der anderen Seite des Stabes) befestigt ist, während die Drähte, soweit sie den Stab entlang laufen, in Rinnen eingelassen sind,

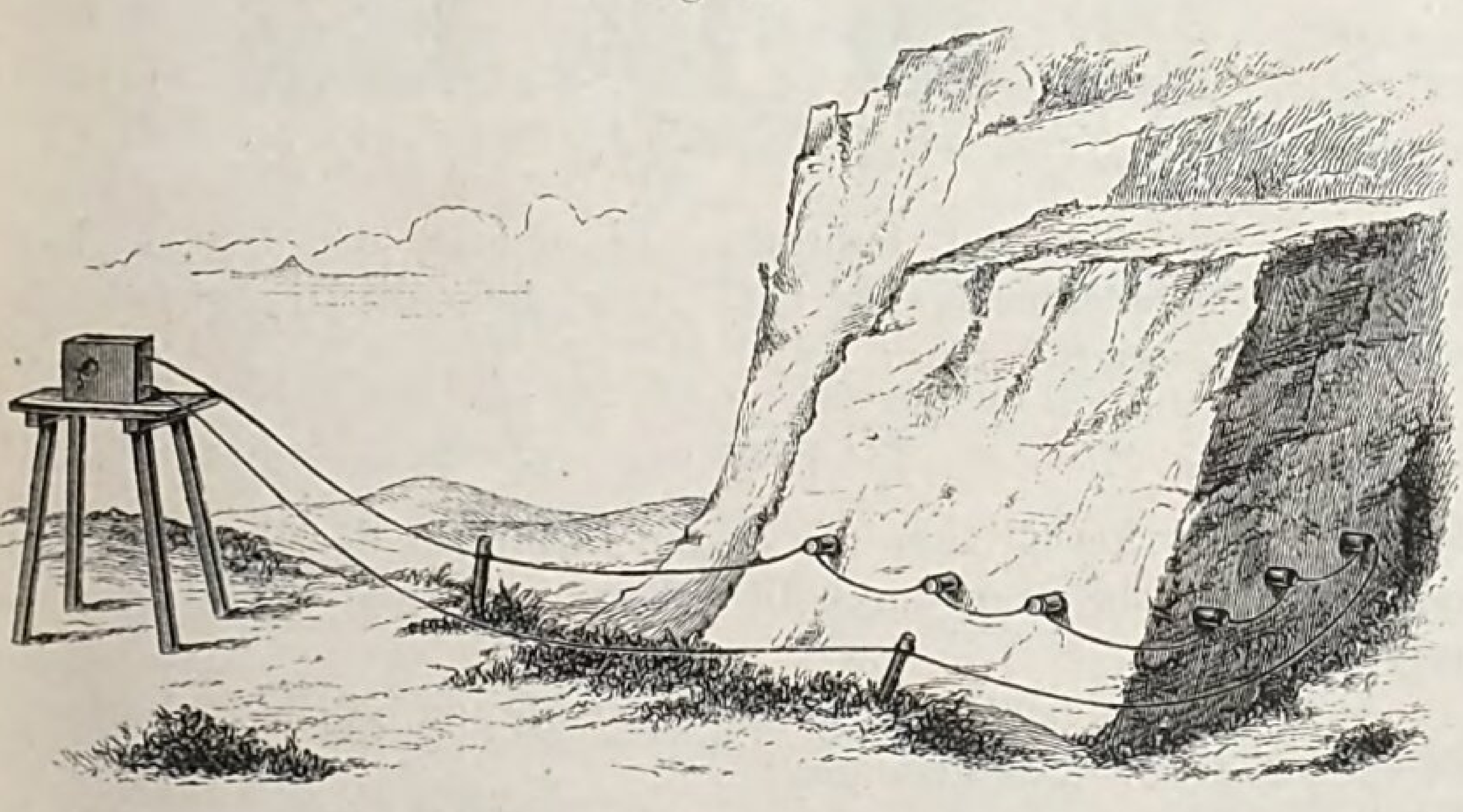
die man längs der Holzstäbe gezogen hat. Ist z. B. das Drahtende $-p$ mit der äusseren Belegung einer Leydener Flasche in Verbindung, so erfolgt eine Entladung, sobald $+p$ mit der inneren Belegung derselben in leitende Verbindung gebracht wird. Der Funke springt vom Zündhütchen h durch den Knallsatz zum Stanniolstreifen im Papiercylinder, andererseits vom Stanniolstreifen zum Zündhütchen g über, wodurch die Explosion eingeleitet wird.

Um eine Sprengung vorzunehmen, wird das Bohrloch mit der Hälfte des Pulversatzes gefüllt, der Stab eingesetzt, so dass $g\,h$ mit dem Pulver in Berührung kommt, der Rest des Pulversatzes aufgeschüttet und endlich das Bohrloch mit trockenem Sand gefüllt. Wenn sich das Pulver nicht gut einschütten lässt, verfährt man, wie Fig. 168 erläutert. Man füllt das Pulver in eine Papierhülse, welche den Zünder umschliesst, steckt diese in das Bohrloch und füllt dasselbe mit Sand an.

Die Enden p und p' der beiden Drähte des Sprengstabes werden mittelst Eisendrähten zu den Knöpfen der Bornhardt'schen Elektrisirmaschine geführt. Um zu verhindern, dass sie den feuchten Boden berühren, werden sie stellenweise um trockene Holzstäbe gewickelt, wie Fig. 169 erläutert.

Der Vortheil der elektrischen Entzündung beruht einmal auf der Sicherheit, da man erst, wenn Alles vorbereitet und die Arbeiter vom Platze entfernt sind, die Drähte mit der Maschine verbindet; dann ins-

Fig. 169.

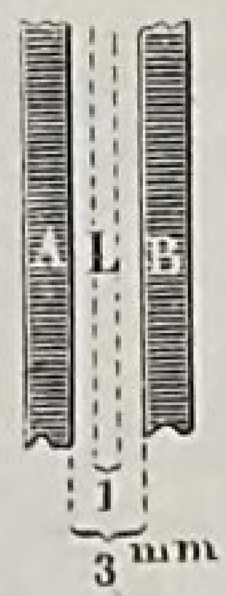


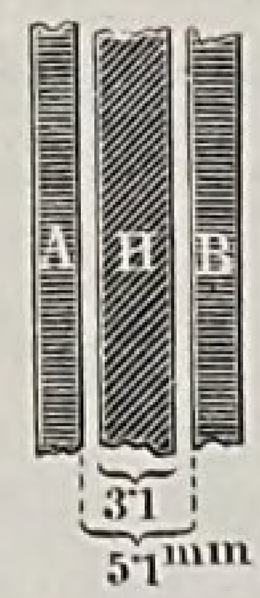
besondere auf der Möglichkeit der absolut gleichzeitigen Entzündung mehrerer Minen, wodurch ihre Wirksamkeit sehr erhöht wird und grössere Steintrümmer erhalten werden. Statt der Entladung der Leydener Flasche wird unter Umständen vortheilhafter der Entladungsfunken eines Inductionsapparates angewendet, den wir später kennen lernen werden.

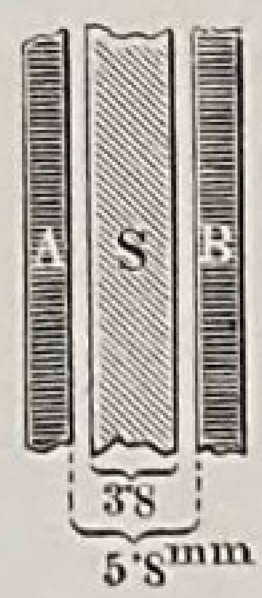
61 **Einfluss der Beschaffenheit des Isolators auf die Condensatorladung. Dielektricitätsconstante.** Faraday hat zuerst entdeckt, dass die Menge der von einem Ansammlungsapparate aufgenommenen Elektricität nicht allein von der Grösse, Gestalt und dem Abstande der einander gegenüberstehenden Leiter, z. B. der Condensatorplatten, sondern auch von der Beschaffenheit der isolirenden Zwischenschicht abhängt. Er nannte die isolirenden Körper dielektrische und schrieb ihnen ein specifisches Vertheilungsvermögen zu. Gegenwärtig wird die Zahl, welche dieses abweichende Verhalten der verschiedenen Isolatoren ausdrückt, die „Dielektricitätsconstante“ genannt.

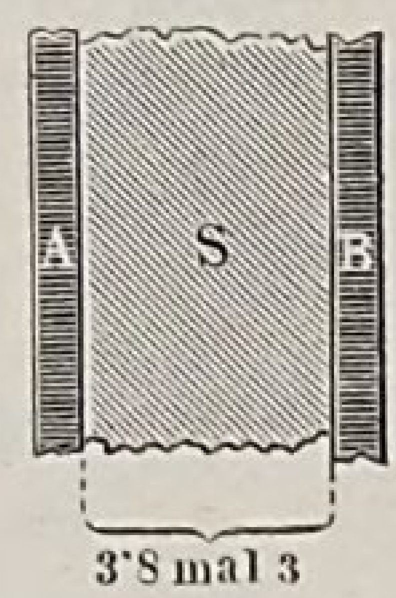
Um uns die Bedeutung der Dielektricitätsconstante klar zu machen, denken wir uns einen Condensator, dessen eine Platte A mit einer Elektricitätsquelle von constanter Spannung, dessen andere Platte B mit der Erde in leitender Verbindung steht. Befindet sich nun zwischen den Condensatorplatten eine Luftschicht von der Dicke m, so wird die nicht abgeleitete Platte A eine gewisse Menge von Elektricität E aufnehmen. Ersetzt man jetzt diese Luftschicht durch eine andere

Fig. 170. Fig. 171. Fig. 172. Fig. 173.









isolirende (dielektrische) Substanz, so nimmt die Platte A eine grössere Elektricitätsmenge E' auf. Es ist dann die Dielektricitätsconstante dieser Substanz:

$$D = \frac{E'}{E},$$

also gleich dem Verhältnisse der beiden Ladungen der Platte A, wenn einmal der Zwischenraum durch die Substanz, das andere Mal durch Luft ausgefüllt ist.

Auch auf folgende Weise könnten wir zu einer Definition der Dielektricitätsconstante gelangen:

Im §. 54 haben wir erfahren, dass die Verstärkungszahl eines Condensators (wenn der Plattenabstand klein ist gegenüber deren Durchmesser, so dass die Elektricität an den Rändern und Zuleitungsdrähten vernachlässigt werden kann) verkehrt proportional sei dem Plattenabstande und ausserdem von der Natur des Isolators abhänge. Würde also z. B. ein Isolator trotz doppelter Dicke dieselbe Verstärkungszahl des Condensators ergeben, wie dieser bei einfacher Dicke der dazwischenliegenden Luft zeigt, so müssten wir diesem Isolator ein doppelt so

grosses specifisches Vertheilungsvermögen als das der Luft, also die Dielektricitätsconstante = 2 zuschreiben. Nehmen wir ein paar Beispiele.

Fig. 170 stelle uns in abgebrochener Durchschnittszeichnung die beiden Condensatorplatten A und B vor, von denen die eine A mit einer constanten Elektricitätsquelle, die andere B mit dem Erdboden in leitender Verbindung sei. Zwischen den Platten sei eine Luftschicht von 3 mm Dicke vorhanden. Von dieser Luftschicht denken wir uns nun eine 1 mm dicke Schichte herausgenommen und durch einen festen dielektrischen Körper, z. B. Hartgummi, ersetzt. In diesem Falle würde die Verstärkungszahl des Condensators sofort zunehmen, wie wir uns durch Prüfung der Spannung an der Platte A überzeugen können, nachdem wir dieselbe isolirt und von B entfernt haben. Um die ursprüngliche geringere Verstärkungszahl wiederum herzustellen, müssen wir die eingeschaltete Hartgummiplatte 3·15 mal so dick nehmen, als die Luftschicht, an deren Stelle sie getreten ist (Fig. 171). Hätten wir statt dessen eine Schwefelplatte eingeschaltet, so müsste dieselbe 3·84 mm Dicke haben, um die 1 mm dicke Luftschicht so zu ersetzen, dass die Verstärkungszahl des Condensators dieselbe bleibt (Fig. 172). Wollten wir den ganzen Zwischenraum mit Schwefel ausfüllen, so müssten wir der Schwefelschichte eine Dicke 3·84 mal so gross als die Dicke der Luftschichte, also in unserem Falle 11·52 mm Dicke geben (Fig. 173). Die Zahlen 3·15 und 3·84 sind nun die Dielektricitätsconstanten von Hartgummi und Schwefel nach den Messungen von L. Boltzmann, dem wir eine sehr sorgfältige Untersuchung dieser Constante verdanken.

Wir können die Sache also auch so ausdrücken. Sind n_1, n_2, n_3 . . . die Dicken der zwischen den Platten des Condensators vorhandenen dielektrischen Schichten und D_1, D_2, D_3 . . . ihre Dielektricitätsconstanten, so ist die Verstärkungszahl des Condensators unter übrigens gleichen Umständen verkehrt proportional der Summe:

$$\frac{n_1}{D_1} + \frac{n_2}{D_2} + \frac{n_3}{D_3} \cdots,$$

dabei ist die Dielektricitätsconstante der Luft = 1 gesetzt. Bringt man also zwischen die Condensatorplatten vom Abstande m eine Platte eines Körpers von der Dielektricitätsconstante D und der Dicke n, so ist die Verstärkungszahl verkehrt proportional der Grösse $m - n + \frac{n}{D}$. Hierauf hat L. Boltzmann (Wien. Akad. Ber. LXVII) eine sehr genaue Methode zur Messung der Dielektricitätsconstante gegründet, indem er mittelst eines Thomson'schen Elektrometers die Elektricitätsmengen ermittelte, welche die Platte A aufnimmt, wenn nur Luft oder eine den Zwischenraum nicht ganz ausfüllende dielektrische Substanz

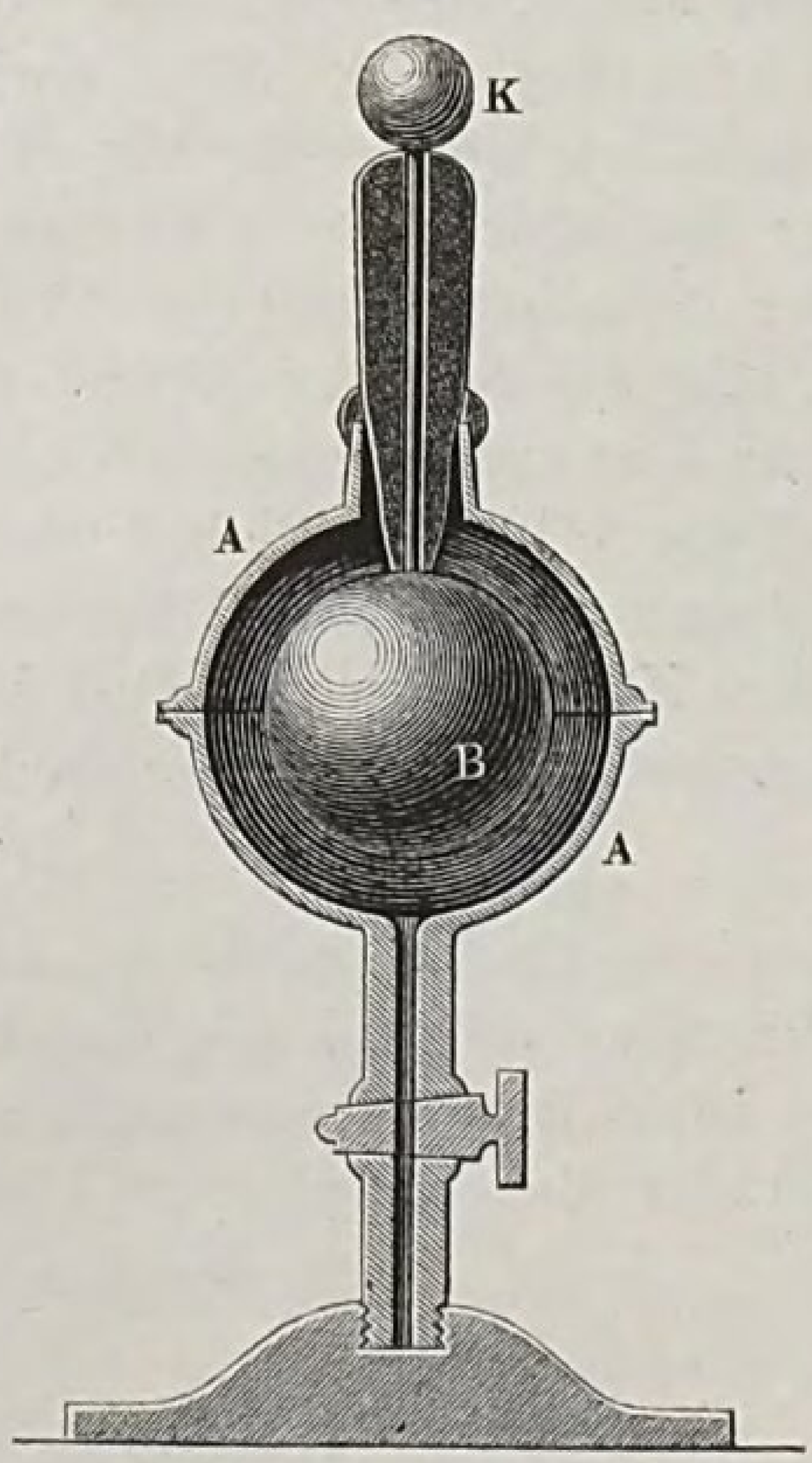
zwischen den Platten sich befand. Boltzmann erhielt folgende Werthe:

Substanz	Dielektricitätsconstante
Hartgummi	3·15
Paraffin	2·32
Schwefel	3·84
Colophonium	2·55

Des historischen Interesses wegen wollen wir auch noch die Methode beschreiben, deren sich Faraday bediente, welche allerdings viel weniger genaue Werthe geliefert hat.

In Fig. 174 stelle A eine metallene Hohlkugel dar, die auf einem metallenen Fusse steht. In einer oben angebrachten Oeffnung steckt dicht schliessend ein Schellackcylinder durch dessen Mitte ein Draht geht, der oben die kleine Metallkugel K, unten die Metallkugel B trägt. Der Durchmesser der Kugel A ist ungefähr 8·5 cm, der der Kugel B ist 6 cm. — Die Kugel A besteht aus zwei, den Magdeburger Halbkugeln ganz ähnlichen Stücken, so dass man die obere Hälfte sammt dem Schellackcylinder und den Kugeln K und B abheben kann.

Fig. 174.



Faraday brauchte zu seinen Versuchen zwei ganz gleiche Apparate der Art, die er Vertheilungsapparate nennt.

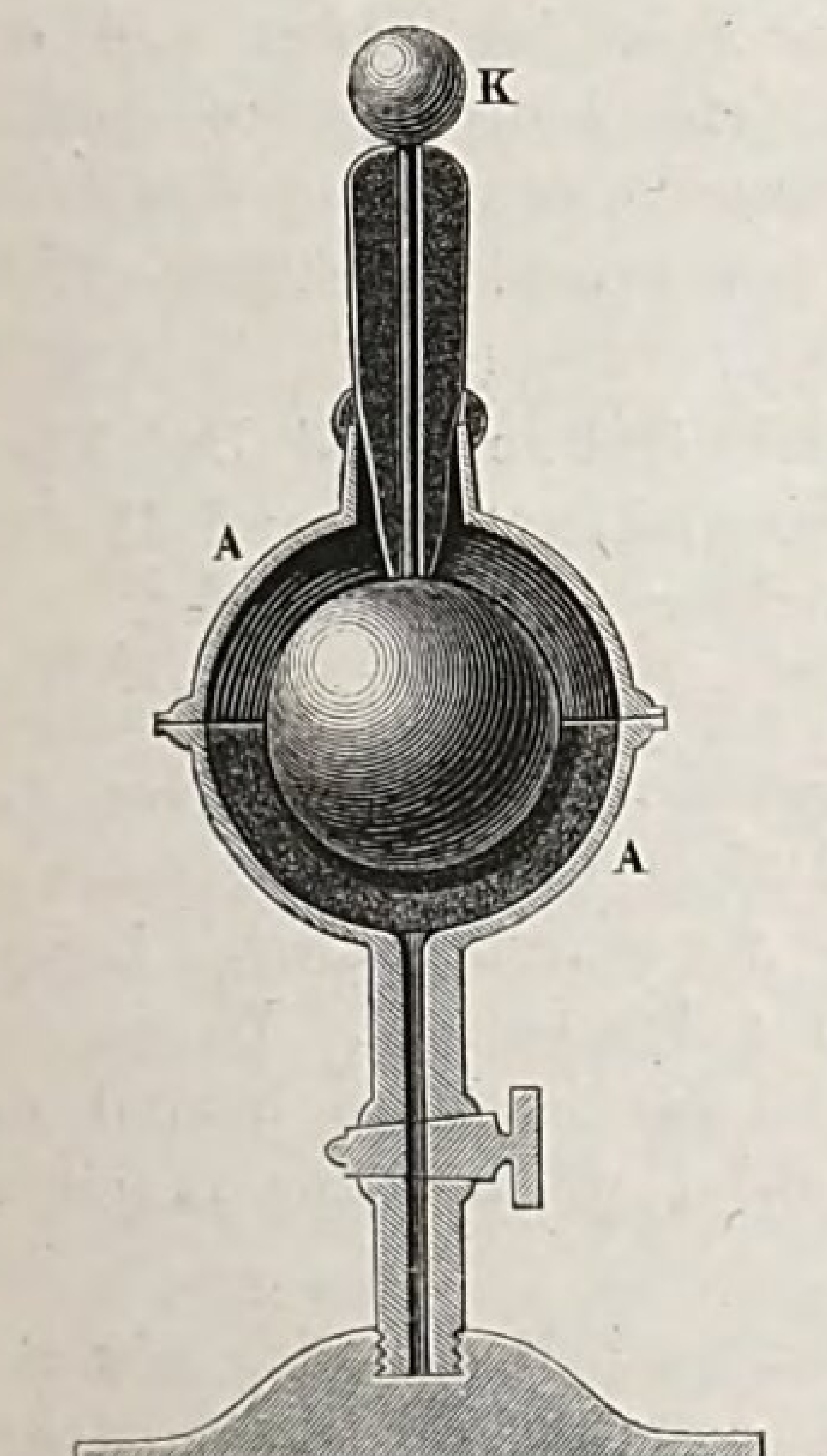
Man kann einen solchen Vertheilungsapparat laden, wie man eine Leydener Flasche ladet, wenn man K mit einer Elektricitätsquelle, A aber mit dem Boden in leitende Verbindung setzt. B repräsentirt alsdann die innere Belegung, A die äussere, die Luftschicht zwischen beiden ersetzt die Glasbelegung.

Ein solcher Vertheilungsapparat, den ich mit I bezeichnen will, wurde dadurch geladen, dass man K mit der Kugel einer geladenen Leydener Flasche berührte, während A gut abgeleitet war. Begreiflicher Weise musste, wie dies ja auch bei der inneren Belegung einer Leydener Flasche der Fall ist, auf B und K ein Ueberschuss freier Elektricität sein, dessen Stärke an einer Coulomb'schen Drehwage gemessen wurde. Um die Mittelpunkte der beiden Kugeln der Drehwage in einem Winkelabstande von 30° zu erhalten, war eine Torsion des Fadens von 250° nöthig.

Nun wurde mit dem Knopfe K des Vertheilungsapparates I der Knopf K eines ganz gleichen Vertheilungsapparates II berührt, während dessen äussere Kugel gut abgeleitet war. Die Ladung, welche vorher dem Apparate I allein mitgetheilt war, wurde auf diese Weise zwischen den beiden Vertheilungsapparaten getheilt. — Nach dieser Theilung wurde die Stärke der freien Elektricität der inneren Belegung für jeden der beiden Vertheilungsapparate gemessen; der ersteren entsprach eine Torsion von 124^0, der anderen eine Torsion von 122^0 an der Drehwage, um die Kugeln, wie immer, auf einem Winkelabstande von 30^0 zu erhalten; nach der Theilung war also die freie Elektricität auf der inneren Belegung sehr nahe gleich, und zwar, wie vorauszusehen war, halb so gross, als auf I vor der Theilung, es hat sich also die Ladung auf die beiden Vertheilungsapparate ganz gleich vertheilt.

Nun wurde in dem Apparate II die Hälfte der Luft durch ein anderes dielektrisches Mittel ersetzt. Zunächst wurde Schellack versucht. Die obere Hälfte des Apparates II wurde abgehoben, in die untere Hälfte der Kugel A eine halbkugelförmige Schale von Schellack eingelegt, und nun die obere Hälfte des Apparates wieder aufgesetzt, so dass der Zwischenraum zwischen der unteren Hälfte beider Kugeln durch Schellack ausgefüllt war, wie dies Fig. 175 angedeutet ist.

Fig. 175.



Der Apparat I, welcher unverändert, wie beim vorigen Versuch blieb, wurde ganz in der früheren Weise geladen, und die freie Elektricität der inneren Belegung an der Torsionswage gemessen. Auf diese Weise gab

der Apparat I 290^0.

Nun wurde die Ladung zwischen dem Apparate I und II getheilt, nach der Theilung gab

der Apparat I 114^0,
der Apparat II 113^0.

Auch hier ist die freie Elektricität der inneren Belegung beider Apparate nach der Theilung sehr nahe gleich, allein sie ist weit geringer als die Hälfte der freien Elektricität der inneren Belegung des Apparates I vor der Theilung; daraus geht nun hervor, dass der Apparat II mehr als die Hälfte der Elektricität des Apparates I aufgenommen hat, ohne dass deshalb die freie Elektricität auf II grösser wäre, als auf I, und daraus schliesst Faraday, dass durch Schellack hindurch eine kräftigere Bindung stattfinde.

Bezeichnen wir die Menge der freien Elektricität der inneren Belegung von I vor der Theilung mit 290, so ist die Gesammtmenge der hier

vorhandenen Elektricität n . 290; nach der Theilung bleibt nur noch n . 114; es ist also n (290 — 114) $= n$. 176 an den Apparat II abgegeben worden. Hier aber findet nun ein anderes Verhältniss zwischen der gebundenen und freien Elektricität statt; die freie Elektricität ist 113, die gebundene n' 113, wir haben also

$$n' \, 113 = n \, . \, 176,$$

also

$$n' = n \cdot \frac{177}{113} = n \, . \, 1{\cdot}55;$$

durch Schellack hindurch findet also eine 1·55 mal stärkere Bindung statt als durch Luft, oder wie Faraday sich ausdrückt: Schellack hat ein 1·55mal grösseres specifisches Vertheilungsvermögen als Luft.

Durch ähnliche Versuche fand Faraday das specifische Vertheilungsvermögen des Schwefels 2·24 mal so gross als das der Luft.

Für die verschiedenartigsten Gase fand Faraday das specifische Vertheilungsvermögen gleich dem der Luft. Um verschiedene Gase in den Apparat bringen zu können, war der Fuss durchbohrt und mit einem Hahn versehen; man konnte ihn auf eine Luftpumpe schrauben, evacuiren und dann ein anderes Gas einlassen. Boltzmann dagegen hat für verschiedene Gase eine verschieden grosse Constante nachgewiesen (Wien. Akad. Ber. LXIX).

Nach Faraday haben Siemens, dann Gibson und Barklay Dielektricitätsconstanten bestimmt; Clausius, Maxwell und Helmholtz haben hierüber theoretische Untersuchungen veröffentlicht.

Ueber das Verhalten der Nichtleiter gegenüber der elektrischen Influenz stehen sich zweierlei Theorien gegenüber. Nach der einen Ansicht, welche auch J. Müller in der vorigen Auflage dieses Buches noch vertreten hat, sind die sogenannten Nichtleiter nur extrem schlechte Leiter, aber nicht wesentlich verschieden von den guten Leitern. Wegen der viel langsameren Beweglichkeit der Elektricität in ihnen kommt die Influenzwirkung nur sehr langsam zu Stande, während sie in einem guten Leiter augenblicklich erfolgt.

In dem Nichtleiter respective sehr schlechten Leiter endlich schreitet nach dieser Ansicht der Ausgleich der vorhandenen ungleichen Spannungen nur so weit fort, bis er an dem Widerstande gegen die Bewegung der Elektricität ein Hinderniss findet. Es kann also auf diese Weise die vollständige Herstellung des elektrischen Gleichgewichtes dauernd verhindert werden und der schlechte Leiter wirkt, sobald die Spannungsdifferenz bis zu einer gewissen Gränze gesunken ist, von da an wie ein vollkommener Isolator.

Nach der gegnerischen Ansicht, welche von Faraday herrührt, verhalten sich die Nichtleiter wesentlich verschieden von den Leitern.

Die Elektricität kann sich in ihnen gar nicht von Molekül zu Molekül bewegen, nur innerhalb der Moleküle ist die Leitung möglich. Unter dem Einfluss eines elektrischen Körpers findet eine Influenzwirkung der Art statt, dass entweder innerhalb jedes Moleküls die Elektricitäten sich scheiden und polarisch anordnen, oder dass die von vornherein polarelektrischen Theilchen sich gleich richten. Die Nichtleiter verhalten sich also nach dieser Theorie einem elektrischen Körper gegenüber ganz ähnlich wie ein unmagnetisches Stück Eisen gegenüber einem Magneten. Man nennt den Zustand eines solchen Nichtleiters den der dielektrischen Polarisation.

Die Thatsache, dass bei manchen Isolatoren die Influenzwirkung nicht momentan vollständig eintritt, sondern dass eine gewisse Zeit vergeht, bis ein Gränzzustand eintritt, kann nun entweder durch die stattfindende geringe Leitung oder auch nach Clausius dadurch erklärt werden, dass die Polarisation eine gewisse Zeit erfordert, ähnlich wie ein elastischer Körper nach eingetretener Deformation noch eine elastische Nachwirkung erleidet, weshalb auch Boltzmann hierfür die Bezeichnung „dielektrische Nachwirkung“ in Vorschlag gebracht hat.

Es wäre also immerhin möglich, dass die Phänomene auf dem Zusammenwirken mehrerer Vorgänge beruhen. Dass jedoch die Annahme einer Leitung allein nicht genügt, um die Erscheinungen zu erklären, hat insbesondere Boltzmann auf folgende Weise gezeigt. Er wies zunächst nach, dass dielektrische Körper von einem elektrischen eine Anziehung erleiden, also auch eine Fernwirkung zeigen, ebenso wie etwa weiches Eisen gegenüber einem Magnetpol. Eine Schwefelkugel z. B. wird von einer elektrischen Metallkugel halb so stark angezogen wie eine gleich schwere mit metallener Oberfläche.

Dass dabei nicht die durch theilweise Leitung innerhalb der Schwefelkugel eingetretene Vertheilung im Spiele ist, geht nun daraus sicher hervor, dass bei sehr schnell bis zu 200 mal in der Secunde wechselnden Zeichen der Elektricität in der elektrisirten Kugel die Anziehung ebenso stark war, wie bei dauernder Ladung mit positiver oder negativer Elektricität. Wenn die Influenz durch Leitung zur Wirkung käme, so müsste diese Wirkung im letzteren Falle offenbar viel grösser sein, da sie viel mehr Zeit fände, eine Vertheilung hervorzurufen.

Dagegen scheint sicher zu sein, dass bei weniger guten Isolatoren als Schwefel, z. B. bei Glas, und nach Wüllner bei flüssigen Isolatoren eine wirkliche Leitung neben der dielektrischen Wirkung einhergeht.

Der Flaschenrückstand. Mit dem Gegenstande des vorigen 62
Paragraphen steht in nahem Zusammenhange folgende Erscheinung. Wenn man eine Leydener Flasche mit einem der oben beschriebenen Auslader entladen hat und sie dann einige Zeit stehen lässt, so giebt sie einen zweiten, freilich weit schwächeren Entladungsschlag. Die Elektricität bleibt nämlich nicht bloss auf den metallischen Belegungen der

Leydener Flasche, sondern sie geht zum Theil auf die Oberfläche des Glases über. Dass die Sache wirklich so sei, lässt sich an einer Flasche zeigen, deren Belegungen man wegnehmen kann. Eine solche Flasche ist Fig. 176 dargestellt; in das Blechgefäss Fig. 177 wird nämlich zuerst das Glasgefäss Fig. 178 und in dieses endlich das die innere Belegung bildende Blechgefäss Fig. 179 gesetzt. Nachdem man diese Flasche ge-

Fig. 176.



Fig. 177.



Fig. 178.



Fig. 179.



laden hat, nehme man die innere Belegung heraus und entlade sie vollständig. Dann hebe man das Glasgefäss aus der äusseren Belegung und nehme auch dieser alle ihre Elektricität. Setzt man nun das Glas wieder in die äussere Belegung und die innere in das Glas, so findet man, dass die Flasche noch zum Theil geladen ist, und diese Ladung hatte offenbar auf den gegenüberstehenden Oberflächen des Glasgefässes gehaftet.

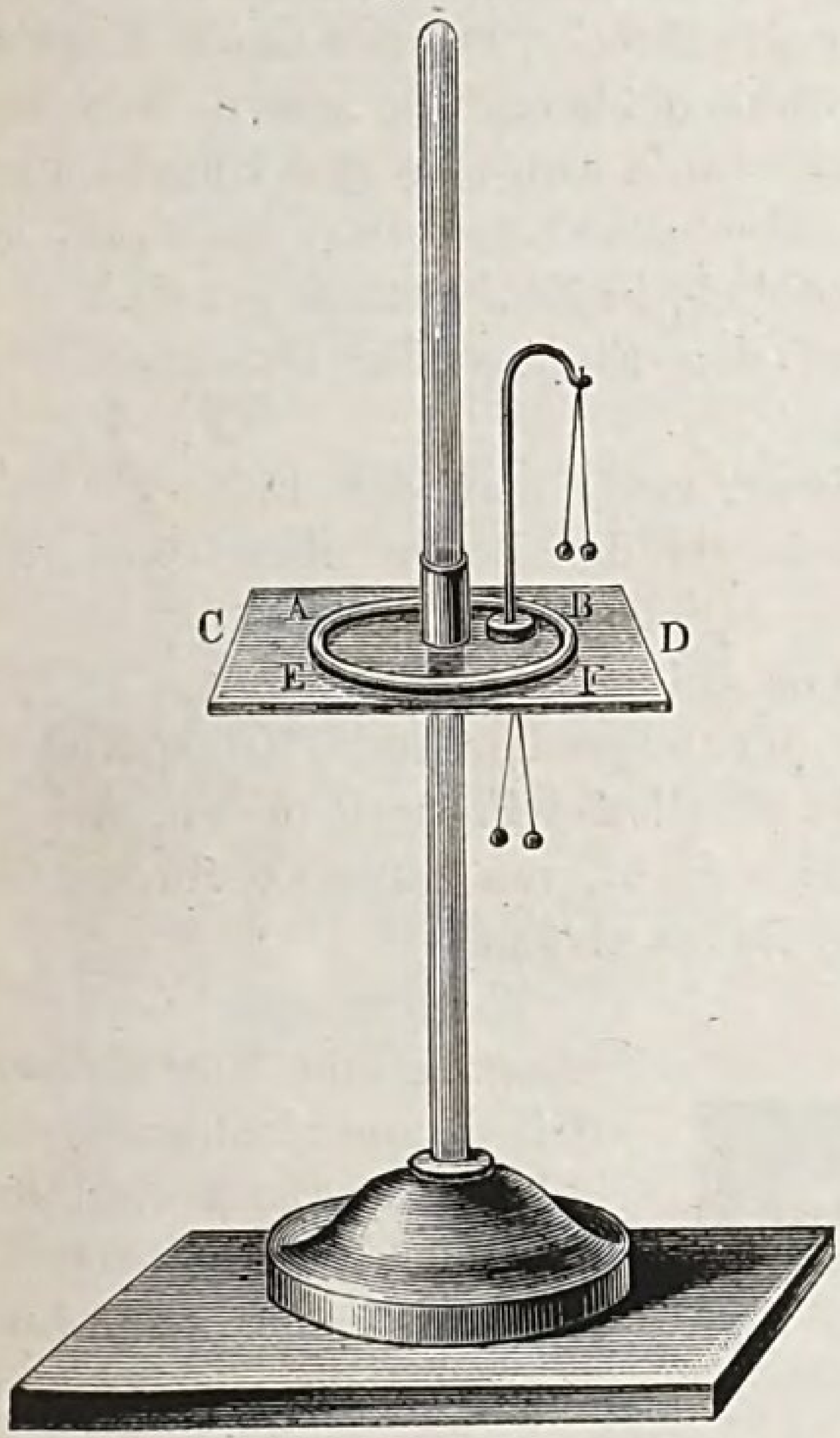
Man kann denselben Versuch auch mit dem schon früher besprochenen Apparat, Fig. 180, anstellen. Nachdem man denselben geladen hat, hebe man die obere Platte ab und entlade sie; alsdann hebe man die Glasplatte auf und entlade auch die untere Metallplatte. Setzt man nun nach Entladung der beiden Metallplatten den Apparat wieder zusammen, wie ihn die Fig. 180 darstellt, so zeigt er sich nach einiger Zeit abermals geladen.

Die eben besprochene rückständige Ladung wird gewöhnlich als **elektrisches Residuum** bezeichnet.

63 **Der elektrische Funke.** Wenn man einen mit Elektricität geladenen Leiter einem anderen mit dem Boden in leitender Verbindung stehenden nähert, so wird letzterer, wie wir gesehen haben, sich mit gebundener Elektricität laden, welche der des ersteren Leiters entgegengesetzt ist. Die Ladung des zweiten Leiters wächst, die Kraft, mit welcher die einander gegenüberstehenden entgegengesetzten Elektricitäten sich anziehen, nimmt zu, wenn man den zweiten Leiter dem ersten nähert, bis endlich die elektrische Spannung auf beiden Leitern gross genug wird, um die isolirende Luftschicht zu durchbrechen.

Wenn die Dichtigkeit der Elektricität auf den beiden einander gegenüberstehenden Leitern bedeutend war, und eine verhältnissmässig grosse Quantität Elektricität zwischen denselben übergeht, so ist dieser Uebergang von einer glänzenden Lichterscheinung, dem elektrischen Funken, und von einem mehr oder weniger lebhaften, scharfen Knall begleitet. Wir wollen hier nur die äusseren Verhältnisse des elektrischen Funkens näher betrachten, und eine Untersuchung über das Wesen desselben und über die Natur des elektrischen Lichts überhaupt in einem späteren Capitel besprechen.

Fig. 180.



Sehr hell glänzend ist der Entladungsfunke einer stark geladenen Leydener Flasche oder einer Batterie, weil hier bei nicht sehr grosser Schlagweite die Menge der übergehenden Elektricität eine sehr bedeutende ist; die Bahn dieses sehr intensiven Funkens ist geradlinig, seine Farbe weiss.

Der Funken, welchen man von dem Conductor der Elektrisirmaschine erhält, kann eine viel bedeutendere Schlagweite erreichen, dagegen ist seine Lichtstärke viel geringer, weil zwar die Spannung der auf dem Conductor angehäuften Elektricität eine sehr bedeutende, ihre Gesammtmenge aber doch verhältnissmässig gering ist.

Bei etwas bedeutenderer Schlagweite hört auch der Conductorfunken auf geradlinig zu sein, er nimmt eine unregelmässige, zackige oder ästige

Fig. 181.



Gestalt an, wie Fig. 181 zeigt, welche den Funken der Van Marum'schen Maschine in $\frac{1}{8}$ der natürlichen Grösse darstellt der Funke schlägt

hier von einer kleinen am Conductor befindlichen Kugel zu einer grösseren des Funkenziehers über.

Die Farbe des Funkens, welchen der Conductor der Elektrisirmaschine liefert, hängt ab theils von der Natur des Metalls, aus denen die Kugeln gefertigt sind, zwischen denen der Funken überspringt, theils von der Natur des Gases, welches den Zwischenraum zwischen den Kugeln ausfüllt. In Luft ist die Farbe des Conductorfunkens etwas bläulich, in Wasserstoff ist sie nach Faraday röthlich, in Kohlensäure grünlich etc. Wir werden später noch einmal auf den Einfluss des Gases auf die Farben des Funkens zurückkommen.

Um die Funken zu vervielfältigen, muss man den Leiter, durch welchen die Elektricität vom Conductor in den Boden überströmt, oft unterbrechen; darauf beruhen mehrere Spielereien.

Mit Metallperlen, die auf einem Seidenfaden aufgereiht sind, jedoch so, dass jede Metallperle von der folgenden durch Glasperlchen getrennt ist, kann man Namenszüge und allerlei Figuren bilden, welche so lange leuchten, als man die Maschine dreht, von deren Conductor die Elektricität durch diese Kette in den Boden strömt.

Fig. 182.

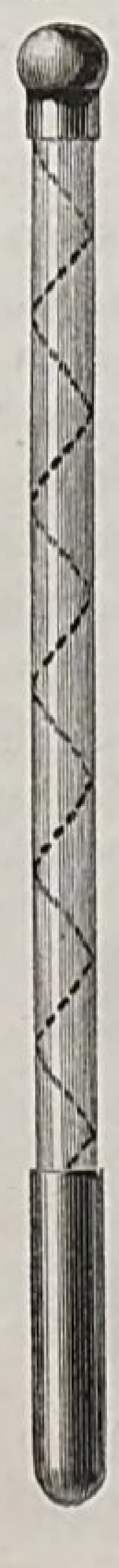
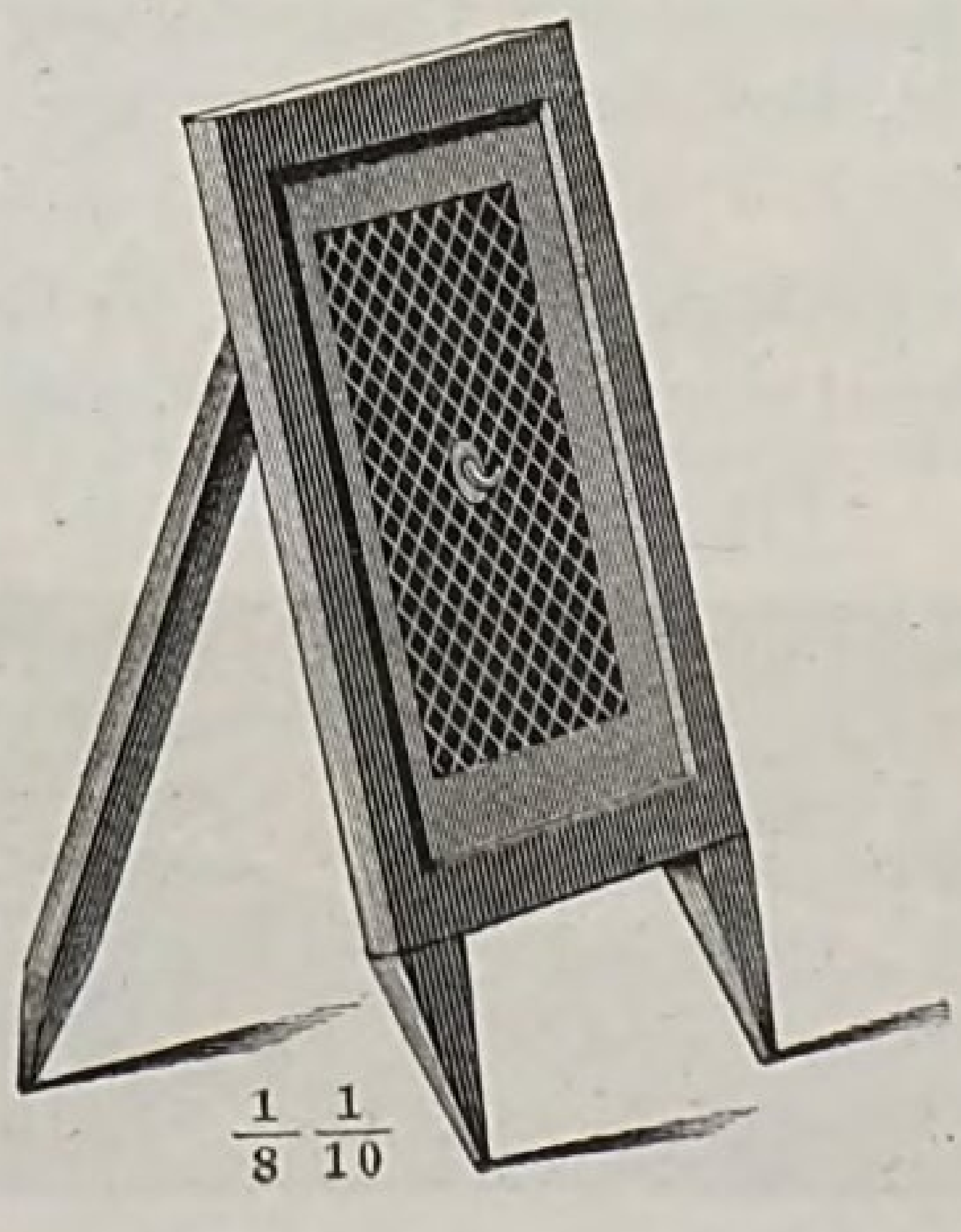


Fig. 183.



Fig. 184.



$\frac{1}{8}$ $\frac{1}{10}$

Wenn man nach Grüel's Angabe eine Kette, deren Glieder aus nicht zu dickem Eisendraht verfertigt sind, als Theil des Schliessungsbogens bei der Entladung einer Leydener Flasche anwendet, so sprüht jeder einzelne Ring Fünkchen aus, welche die charakteristische Verbrennungserscheinung des Eisens zeigen.

Blitzröhren, Fig. 182, sind Glasröhren, auf welche man rautenförmige Stanniolblättchen so aufgeklebt hat, dass zwischen zwei einander zugekehrten Spitzen ein kleiner Zwischenraum bleibt, wie Fig. 183 zeigt. Gewöhnlich klebt man sie oder kreisförmige Plättchen so auf, dass sie eine um die Röhre laufende Schraubenlinie bilden. Wenn man das eine

Ende einer solchen Röhre in der Hand haltend, das andere an den Conductor der Maschine bringt, während sie gedreht wird, so sieht man im Dunkeln fortwährend zwischen je zwei Rauten Funken überspringen, so dass eine fast zusammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erscheint.

Eine Blitztafel ist Fig. 184 dargestellt. Eine Glasplatte ist auf beiden Seiten mit Stanniol belegt, ganz wie wir es bei der Franklin'schen Tafel gesehen haben; die vordere Belegung, auf deren Mitte eine Messingplatte mit einem Häkchen aufgekittet sein muss, ist durch zwei Reihen sich kreuzender Schnitte von ungefähr $\frac{1}{2}$ mm Breite in einzelne rautenförmige Stückchen getheilt. Wird nun die hintere Fläche zum Boden abgeleitet, der Haken an der vorderen aber mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung gebracht, so kann eine Ladung des Apparates nur dadurch zu Stande kommen, dass die Elektricität auf der Vorderfläche von einer Raute zur anderen überspringt, was zur Folge hat, dass von der Mitte aus Blitze die ganze Tafel nach allen Seiten hin durchzucken. Besonders glanzvoll zeigt sich die Erscheinung bei einer raschen Entladung der Tafel.

Da die Franklin'sche Tafel bei etwas grösseren Dimensionen zerbrechlich wird, wenn sie auf die oben S. 146 besprochene Weise aufgestellt ist, so kann man sie in eine staffeleiartige Fassung bringen, wie Fig. 184 zeigt.

Man hat diese Spielereien noch auf mannigfache Weise abgeändert, diese Beispiele mögen jedoch genügen.

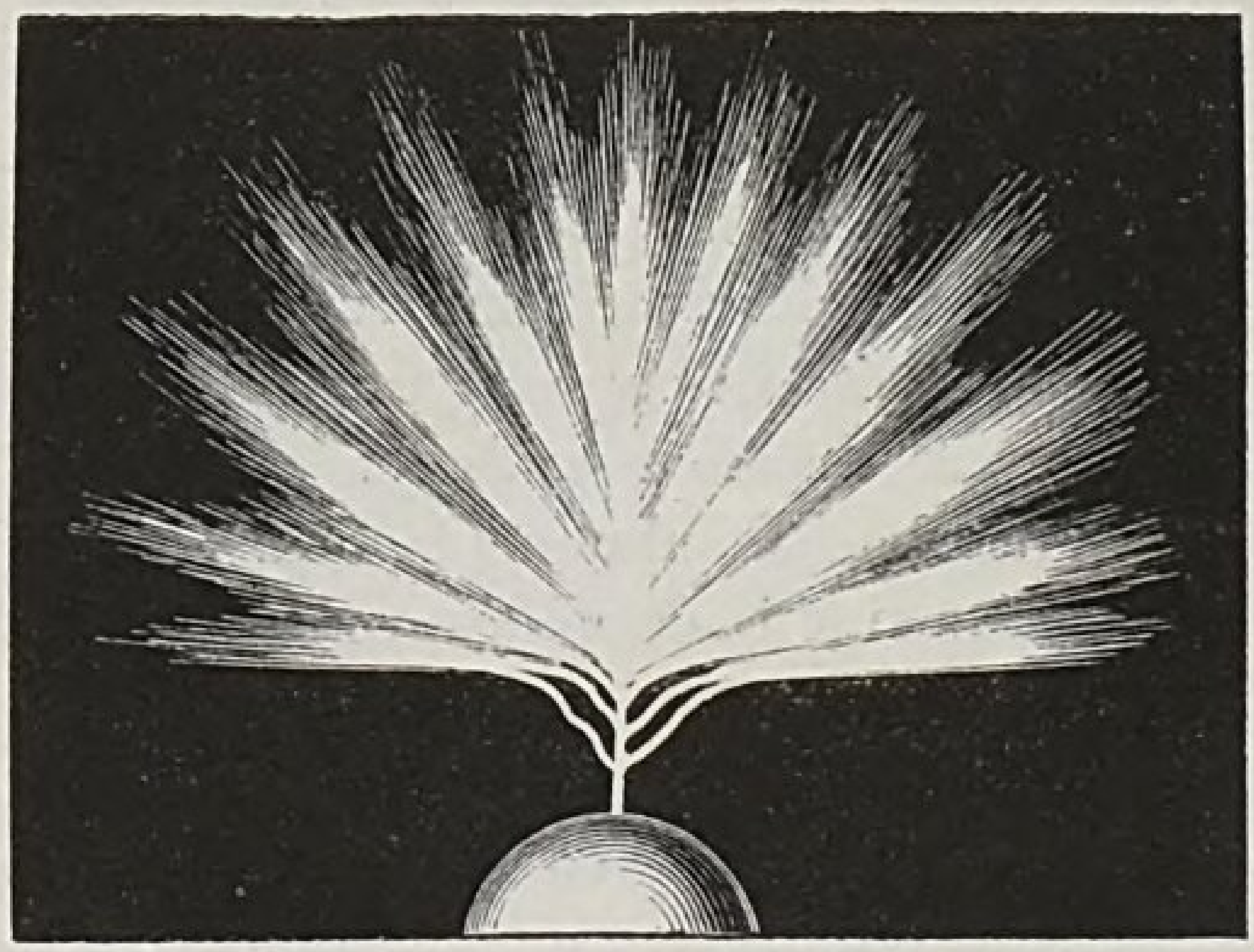
Wenn man den Conductor der Elektrisirmaschine mit einer kleinen Kugel von 6 bis 12 mm Durchmesser versieht und derselben eine zum Boden abgeleitete Metallfläche oder die Hand nähert, so erhält man stark verästelte Funken, die bei grösserer Annäherung in gewöhnliche Funken übergehen. Wenn die Maschine recht kräftig wirkt, so gehen diese verästelten Funken mehr und mehr in einen förmlichen, nur im Dunkeln bemerkbaren Büschel über, der aber noch deutlich aus einzelnen mit Geräusch überschlagenden verästelten Funken besteht. Das Ausströmen der Elektricität wird um so gleichförmiger, je stärker die Maschine wirkt, oder je kleiner die Kugel ist. Hat die Kugel eine der Kraft der Maschine entsprechende Grösse, so ist die Anhäufung der Elektricität in derselben so stark, dass büschelförmige Ausströmungen selbst gegen Halbleiter, wie Holz etc., ja gegen die Luft allein stattfinden.

Van Marum's berühmte Maschine ist so kräftig, dass sie aus einer Kugel von 9 cm Durchmesser einen Lichtbüschel von der Fig. 185 (a. f. S.) in $\frac{1}{10}$ der natürlichen Grösse abgebildeten Form liefert. Bei schwachen Maschinen erhält man die durch freie Ausstrahlung entstehenden Büschel am besten, wenn man auf den Conductor einen am Ende abgerundeten Messingstab von 2 bis 4 mm Durchmesser aufsetzt.

Je dünner das Ende des Metallstabes gemacht wird, welcher den Büschel geben soll, desto continuirlicher wird die Entladung, d. h. desto weniger sind einzelne Verzweigungen im Büschel zu unterscheiden, und

desto kleiner wird der Büschel, der endlich in einen kleinen leuchtenden Punkt übergeht, wenn der Draht in eine Spitze ausläuft. Bei stärkeren Maschinen beobachtet man selbst am Ende etwas dickerer Stäbe ein gleichförmiges ruhiges Glimmen.

Fig. 185.



Für positive Elektricität sind die Büschel am grössten; ist der Conductor mit negativer Elektricität geladen, so sind die Büschel kleiner und gehen viel eher in einen kleinen leuchtenden Stern und in ruhiges Glimmen über.

Die Büschel erhält man nicht bloss, wenn man auf den Conductor der Elektrisirmaschine eine kleine Kugel oder einen abgerundeten Metallstab aufsetzt, sondern auch, wenn man eine kleine Kugel oder einen solchen Stab ableitend berührt und gegen den Conductor der Maschine hält; es strömt alsdann die durch Vertheilung im Stabende angehäufte Elektricität in Büschelform gegen den Conductor aus. Hält man eine Spitze dem Conductor entgegen, so erscheint an derselben der kleine leuchtende Stern.

Wenn man an den Funkenzieher einer kräftigen Elektrisirmaschine einen ganz dünnen Metalldraht hängt, welcher fast bis auf den Boden herabhängt, so wird dieser Draht im Dunkeln leuchtend, so oft ein Funken vom Conductor auf den Funkenzieher überspringt. Es schiessen dabei aus dem Drahte nach allen Seiten hin kurze Strahlen hervor; Van Marum hat mit seiner trefflichen Maschine diese Erscheinung entdeckt und in grossem Maassstabe dargestellt. Fig. 186 stellt ein Stück von Van Marum's leuchtendem Drahte in verkleinertem Maassstabe dar. — Mit schwachen Maschinen lässt sich das Leuchten des

Fig. 186.



Drahtes nicht hervorbringen, wenn sich derselbe nicht in einem luftverdünnten Raume befindet.

64 **Das elektrische Licht im verdünnten Raume.** Im luftverdünnten Raume schlägt der elektrische Funken auf grosse Entfer-

nungen über und breitet sich in prachtvolle Lichtgarben von blassvioletter Farbe aus; im luftverdünnten Raume werden die elektrischen Lichtbüschel viel grösser und schöner. Das Leuchten eines dünnen Drahtes lässt sich im luftleeren Raume schon mit schwächeren Maschinen hervorbringen.

Fig. 187.

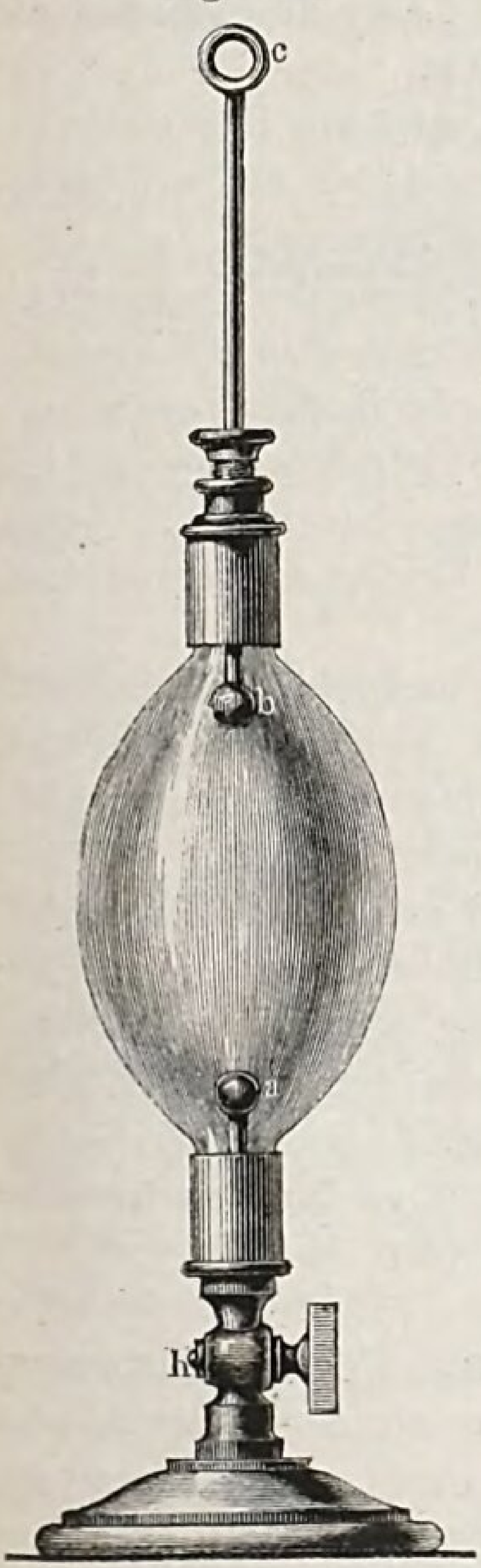


Fig. 187 stellt einen unter dem Namen des elektrischen Eies bekannten Apparat dar, wie er häufig angewandt wird, um das elektrische Licht im verdünnten Raume zu zeigen. An beiden Enden eines elliptischen Glasgefässes sind Metallfassungen aufgekittet; die Fassung auf der einen Seite ist mit einem Hahn versehen und kann auf eine Luftpumpe aufgeschraubt werden. Die Fassung der anderen Seite ist mit einer Lederbüchse versehen, durch welche der mit dem Knopf b endigende Messingstab cb hindurchgeht, so dass man den Knopf b nach Belieben dem Knopfe a nähern kann. Wenn man den Apparat fast luftleer gemacht und die untere Fassung mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht hat, so strömt die Elektricität in Form breiter Lichtbänder zwischen b und a über, so oft ein Funken vom Conductor der Maschine auf c überschlägt. Wenn man durch den Hahn etwas Luft einströmen lässt, so wird das Licht weniger diffus und bildet purpurfarbene Lichtbogen zwischen b und a. Je mehr Luft man einlässt, desto mehr nimmt die Ausdehnung der Lichterscheinung ab, sie nähert sich mehr und mehr der Form des gewöhnlichen elektrischen Funkens.

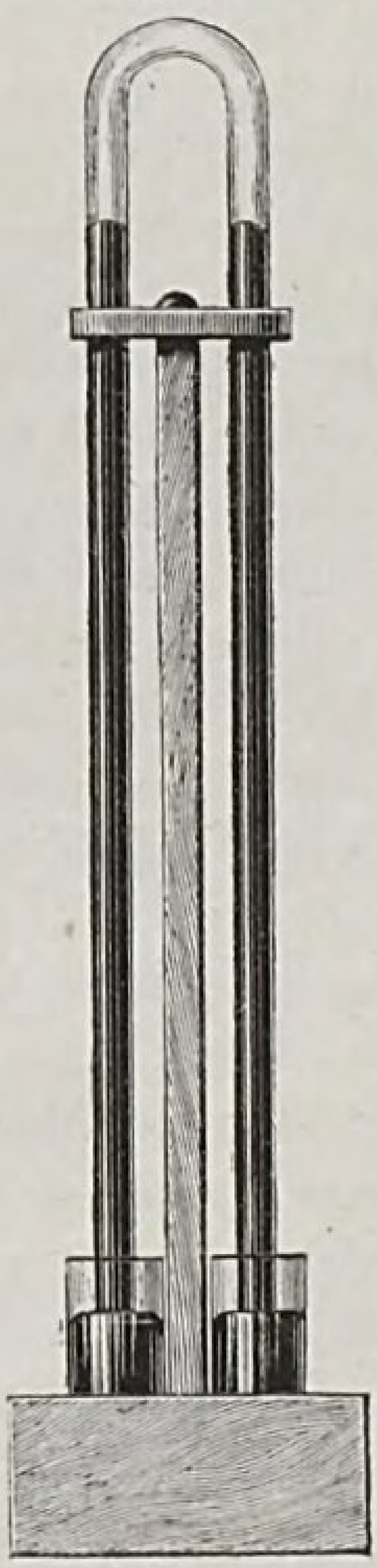
Sehr gut lassen sich auch die elektrischen Lichterscheinungen im verdünnten Raume einer Luftpumpenglocke darstellen, welche oben eine Messingfassung mit einer Stopfbüchse hat, durch welche ein Messingstab hindurchgeht, den man auf- und niederziehen kann, und an dessen unterem Ende eine Kugel oder irgend ein anders geformtes Metallstück angeschraubt ist.

Am bequemsten beobachtet man das elektrische Licht in verdünnten Gasen an den Geissler'schen Röhren, welche wir schon in Band II, Abth. 1, S. 226 bei Gelegenheit der Spectralanalyse erwähnt haben. Da man sich dabei meistens des Funkens der Inductionsapparate bedient, so behalten wir uns vor, an späterer Stelle noch Einiges über dieselben mitzutheilen.

D. Geissler hat übrigens auch evacuirte Glasröhren hergestellt,

welche beim Reiben mit Seide im Inneren leuchten. Um die Erscheinung glänzender zu machen, enthalten diese Röhren meist noch eine Spirale aus fluorescirendem Glase.

Fig. 188.



Auch die Toricelli'sche Leere durchströmt die Elektricität mit Lichterscheinung.

Picard bemerkte zuerst, dass ein Barometer im Dunkeln leuchtet, wenn das Quecksilber auf und nieder schwankt, und bald überzeugte man sich, dass diese Erscheinung von der durch die Reibung des Quecksilbers an den Wänden der Röhre entwickelten Elektricität herrühre. Um das elektrische Licht in der Toricelli'schen Leere zu beobachten, construirte Cavendish das Fig. 188 dargestellte Doppelbarometer, dessen Anwendung wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist.

Bequemer als ein solches Barometer ist eine von D. Geissler zu diesem Zwecke hergestellte evacuirte und zugeschmolzene Glasröhre, welche etwas Quecksilber enthält. Damit dasselbe beim Schütteln stärkere Reibung im Glase erfahre, und das Leuchten stärker hervortrete, ist im Innern der Röhre noch eine engere, mit kugelförmigen Erweiterungen versehene Glasröhre aus Uranglas angebracht. Beim heftigen Schütteln verbreitet dieselbe ein grünliches Licht, dessen Helligkeit eben hinreicht, um unmittelbar daneben lesen zu können.

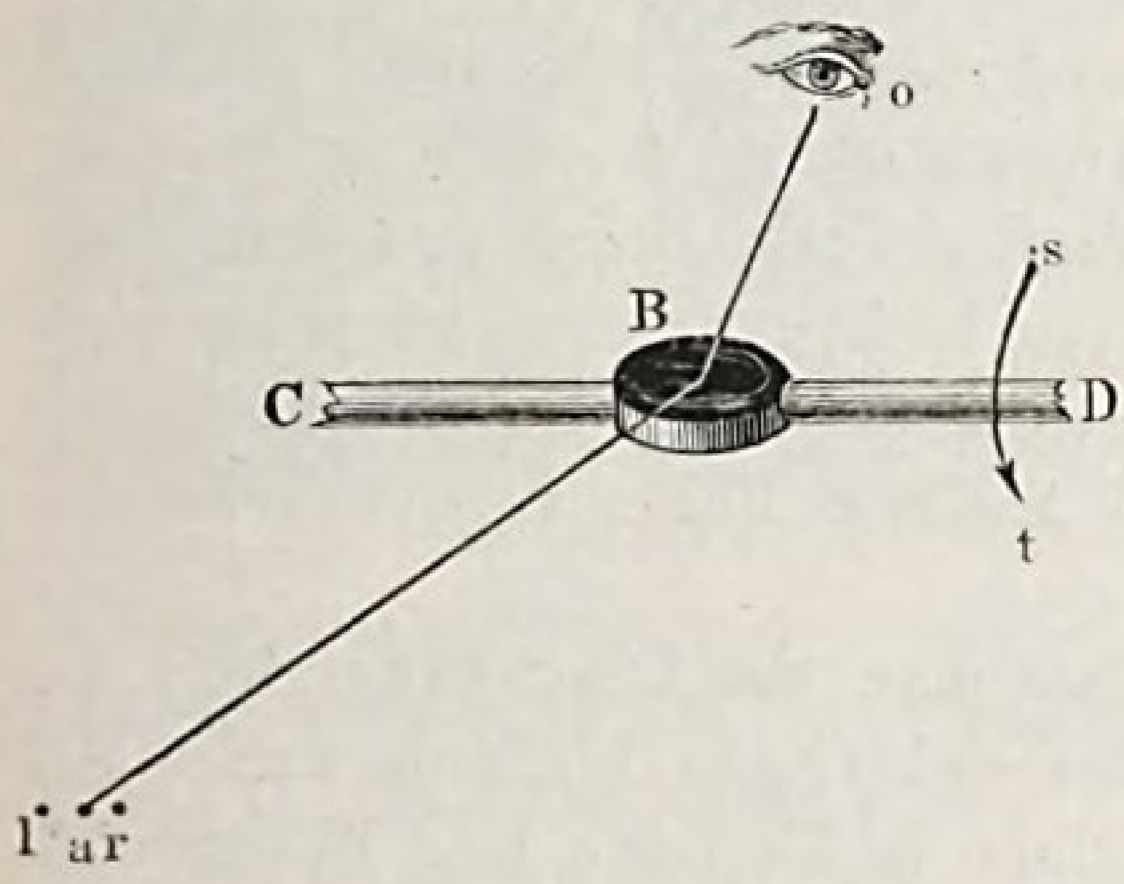
65 **Dauer des elektrischen Funkens, Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität.** Wenn ein vom Tages- oder Lampenlicht beleuchtetes Rad rasch umgedreht wird, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterscheiden; wenn aber ein rasch rotirendes Rad in einem dunkeln Zimmer plötzlich durch einen elektrischen Funken erleuchtet wird, so unterscheidet man die einzelnen Speichen so deutlich, als ob das Rad in Ruhe wäre.

Daraus folgt, dass die Dauer des elektrischen Funkens eine sehr kurze ist; um diese Dauer zu ermitteln, hat Wheatstone eine Reihe von Versuchen angestellt.

Es sei a, Fig. 189, ein leuchtender Punkt, etwa eine entfernt stehende Kerze, B sei ein ebener Metallspiegel, welcher um eine horizontale Axe CD drehbar ist, o endlich sei das Auge des Beobachters. Wenn der Spiegel ruhig steht, sieht das Auge o das Bild des Punktes a im Spiegel B an einer bestimmten Stelle, die sich aber ändert, wenn der Spiegel gedreht wird; ist die Drehung rasch genug, so erscheint statt des Kerzenbildes ein Lichtstreif, indem der Lichteindruck von allen den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, noch eine

Zeit lang im Auge nachwirkt, und man so den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es schon an einer anderen Stelle angekommen ist.

Fig. 189.



Wenn man nun dafür sorgt, dass an der Stelle der Kerze ein elektrischer Funken überspringt, so wird bei rascher Rotation des Spiegels das Bild des Funkens ebenfalls in die Länge gezogen erscheinen, wenn der elektrische Funken nur eine ganz geringe Dauer hat.

Der Spiegel war an einem rotirenden Apparat so befestigt, dass er 50 Umdrehungen in einer Secunde machte; um einen Bogen von 1^0 zu durchlaufen, brauchte also der Spiegel $\frac{1}{50\,.\,360}$tel, und also, um einen Winkel von $\frac{1}{2}$ Grad zu durchlaufen, $\frac{1}{36000}$ tel Secunde. Nun aber ist den Lehren der Optik zufolge die Winkelgeschwindigkeit des Bildes doppelt so gross als die des Spiegels (Bd. II, S. 26), folglich legt das Bild in $\frac{1}{72000}$ tel Secunde einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad zurück; wenn also die Dauer des elektrischen Funkens auch nur $\frac{1}{72000}$tel Secunde betrüge, so müsste schon sein Bild im rotirenden Spiegel als ein $\frac{1}{2}$ Grad langer Streifen erscheinen.

Nach einander bot nun Wheatstone in einer Entfernung von 3 m dem Spiegel 10 cm lange Funken einer Elektrisirmaschine dar, ferner Entladungsfunken einer Leydener Flasche, ein 125 cm langes Glasrohr, worin der elektrische Funke längs einer schraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überspringen musste, ein luftleeres Glasrohr von 2 m Länge, in welchem der Funken beim Durchgang eine ununterbrochene Linie von geschwächtem elektrischen Lichte erzeugte etc. Allein in allen diesen Fällen erschienen die reflectirten Bilder, wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, vollkommen ungeändert und genau auf eben die Weise, als ob sie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären.

Die Dauer eines solchen elektrischen Funkens betrüge demnach weniger als $\frac{1}{72000}$ tel Secunde.

Als aber die Geschwindigkeit des rotirenden Spiegels bis auf 800 Umdrehungen in der Secunde gesteigert wurde, erschien der Funken in

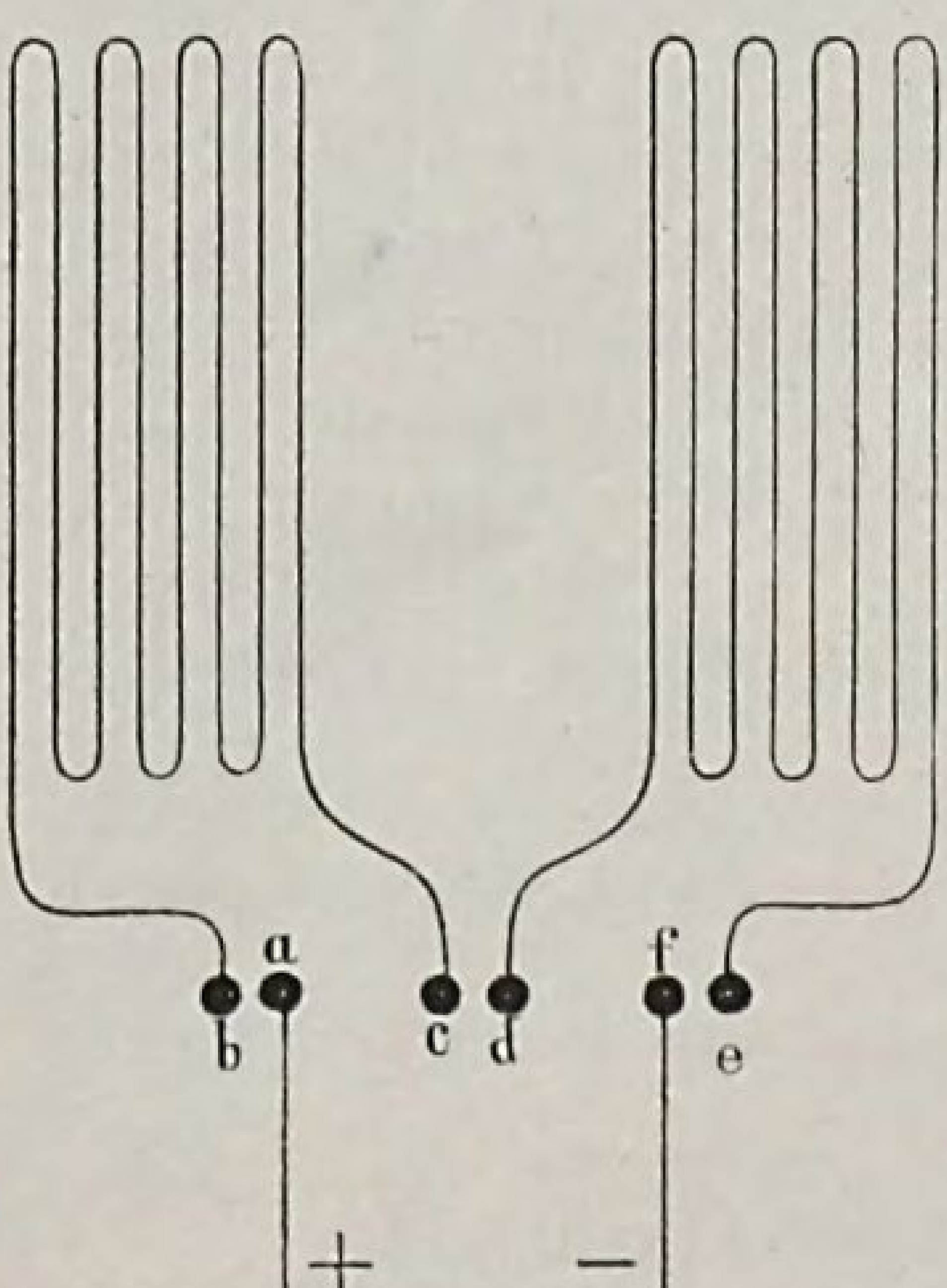
der That verlängert, er erschien jedoch noch nicht unter einer Länge von $\frac{1}{2}{}^{0}$, seine Dauer betrug also noch nicht $\frac{1}{1152000}$ tel Secunde.

Wenn der Ring *c* des luftleer gemachten Apparates, Fig. 187, mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gebracht wird, so erblickt man zwischen den Kugeln *a* und *b* einen zusammenhängenden Lichtstrom, wenn *c* in leitender Verbindung mit dem Conductor der gedrehten Elektrisirmaschine steht; untersucht man aber denselben in dem rotirenden Spiegel, so findet man, dass diese Continuität nur scheinbar ist und von einer raschen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

Mit Hilfe der Leydener Flasche hat man die Geschwindigkeit zu bestimmen gesucht, mit welcher sich das elektrische Fluidum durch die Leiter verbreitet. Nach Versuchen, welche in England und Frankreich in den Jahren 1745 bis 1750 angestellt wurden, werden isolirte, eine halbe Meile lange Metalldrähte von dem Entladungsschlag momentan durchlaufen. In dieser Zeit stellte man auch Versuche über die Fortpflanzung der Elektricität im Wasser und in feuchtem Boden an. Von einem gegebenen Punkte ausgehend, wurde ein mehrere hundert Toisen langer Metalldraht, durch Pflöcke von trockenem Holze isolirt, über ein Terrain von sehr abwechselnder Natur und über Flüsse hinweggeleitet und das entfernte Ende in den Boden gesteckt. Am Ausgangspunkte wurde eine geladene Flasche auf den Boden gestellt und mit dem einen Ende des Drahtes der Knopf berührt. Der elektrische Schlag ging durch die ganze Länge des Drahtes hindurch, ging dann in den Boden über, um in demselben zur äusseren Belegung der Flasche zurückzukehren.

Der Länge des Weges und der mannigfachen Hindernisse ungeachtet erfolgte die Entladung der Flasche ebenso momentan, als ob man einen gewöhnlichen Auslader angewendet hätte.

Fig. 190.



Genauere Bestimmungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in sehr langen Leitern hat erst Wheatstone 1835 angestellt; er wandte dazu gleichfalls den rotirenden Spiegel an. Im Uebrigen war seine Vorrichtung im Wesentlichen die folgende.

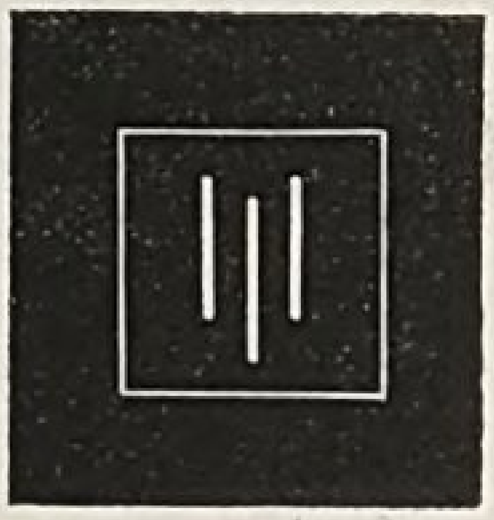
Auf einem 9 cm im Durchmesser haltenden Brett, dem Funkenbrett, waren sechs Kugeln, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* (Fig. 190), gehörig isolirt befestigt. An der Kugel *a* war ein Draht befestigt, welcher mit der inneren Belegung einer Leydener Flasche in Verbindung gebracht werden konnte; die Kugel *b* war von *a* um 2·5 mm entfernt,

von *b* aber führte ein Draht in vielen Windungen nach der Kugel *c*. Die Kugel *d* war nun ebenfalls 2·5 mm von *c* entfernt, und von *d* führte ein gleichfalls vielfach gewundener Draht zur Kugel *e*, welche in einer Entfernung von 2·5 mm der Kugel *f* gegenüberstand. Von *f* führte endlich ein Draht zur äusseren Belegung der Flasche. Wenn nun der letzt erwähnte Draht wirklich die äussere Belegung der geladenen Flasche berührt, so muss, wenn man das freie Ende des an *a* befestigten Drahtes der Flaschenkugel nähert, ein Funken zwischen *a* und *b*, ein zweiter zwischen *c* und *d*, ein dritter zwischen *e* und *f* überspringen.

Fig. 191.



Fig. 192.



Es fragt sich nun, ob diese Funken vollkommen gleichzeitig sind, auch wenn die Länge der Drahtwindungen sehr bedeutend ist? Bei den von Wheatstone angestellten Versuchen betrug die Länge der Drahtwindungen zwischen *b* und *c* $\frac{1}{4}$ englische Meile. Ebenso gross war die Länge des Drahtes zwischen *d* und *e*, so dass der Weg, welchen der elektrische Strom von der inneren zu der äusseren Belegung zu durchlaufen hatte, $\frac{1}{2}$ englische Meile betrug.

Die sechs Kugeln des Funkenbrettes lagen in einer horizontalen Linie.

3 m vom Funkenbrett entfernt, in gleicher Höhe mit demselben, war nun der Apparat mit dem rotirenden Spiegel *B*, Fig. 189, angebracht. Wäre der Spiegel ruhig stehen geblieben, so würde das Auge *o* die Bilder der drei Funken, welche in *l*, *a* und *r* entstehen, so gesehen haben, wie Fig. 191 zeigt, nämlich als drei in einer Horizontallinie liegende leuchtende Punkte. Als die Rotation des Spiegels so gross war, dass er 800 Umdrehungen in der Secunde machte, erschienen alle drei Lichtpunkte in die Länge gezogen, und ausserdem erschien die mittlere noch gegen die äusseren verrückt, und zwar so, wie Fig. 192 zeigt, wenn der Spiegel in der Richtung des Pfeiles *st* rotirte.

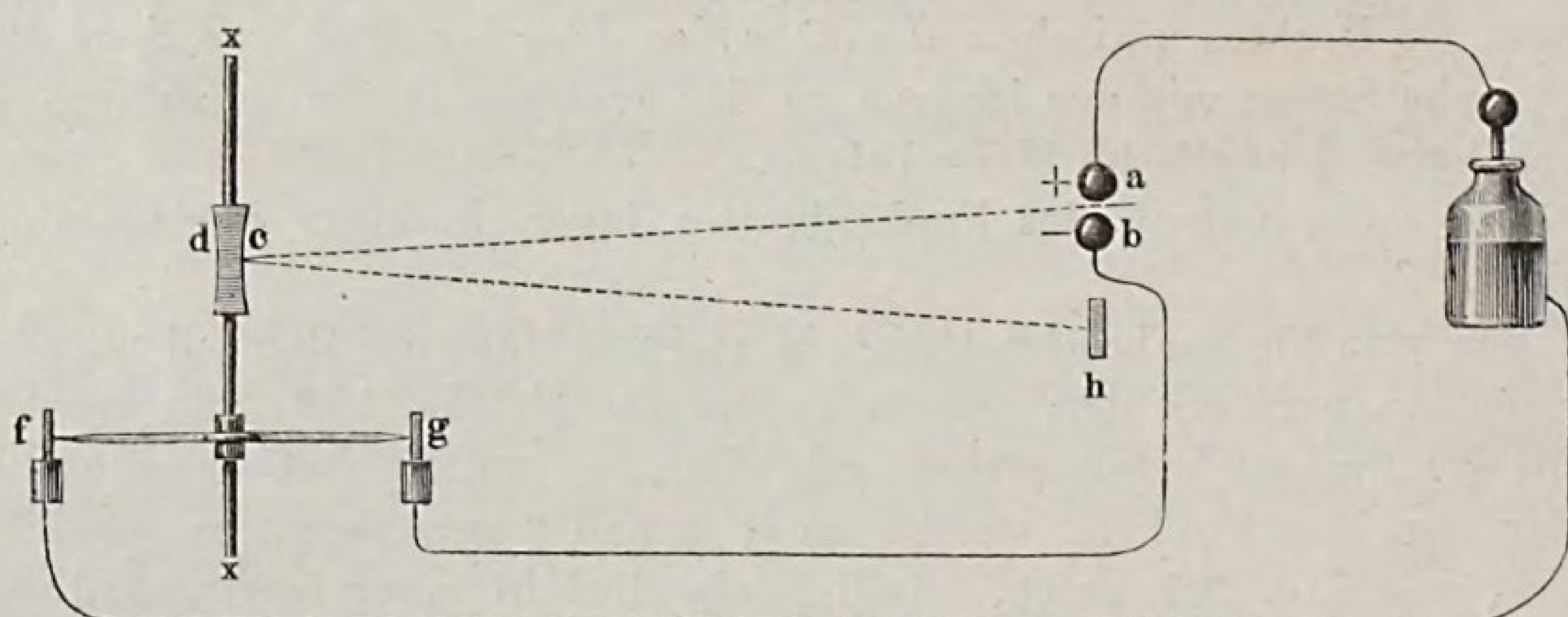
Da die beiden äusseren Funken im Spiegelbilde ihre gegenseitige Lage behalten, so erscheinen also die beiden äusseren Funken vollkommen gleichzeitig, der elektrische Strom beginnt also gleichzeitig von den beiden Belegungen gegen die Mitte des Entladungsdrahtes hin, der mittlere Funke erscheint aber später, da sein Bild gegen das der äusseren Funken verrückt erscheint.

Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die äusseren betrug ungefähr $\frac{1}{2}^{0}$, der mittlere Funken erschien also ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ Secunde später als die beiden äusseren, in dieser Zeit hatte also der elektrische Strom einen Weg von $\frac{1}{4}$ englische Meile zurückgelegt, in einer Secunde legt er also einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$

englische Meilen (oder 60000 deutsche Meilen) zurück. Ausser Wheatstone haben auch Fizeau und Gounelle, Walker, Mitchell und Gould, endlich mit besonderer Genauigkeit Werner Siemens Messungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität ausgeführt. Letzterer fand hierfür in Eisendraht 31000 geographische Meilen oder rund 240000 km per Secunde. Dieser Werth ist viel kleiner als jener Wheatstone's. Kirchhoff hat auf theoretischem Wege die Geschwindigkeit in einer widerstandslosen Leitung auf 41000 geographische Meilen berechnet, welche demnach als obere Gränze anzusehen ist. Die Elektricität bewegt sich also nahe so schnell wie das Licht. Nach Siemens' Messungen würde sie die Erde in einem Eisendrahte binnen einer Secunde ungefähr 6 mal umkreisen können.

Die Untersuchung des Entladungsfunkens der Batterie mittelst rotirender Spiegel hat Feddersen sehr vervollkommnet (Pogg. Annal. Bd. CXIII u. CXVI). Die Anordnung seiner Versuche ist in Fig. 193 schematisch dargestellt. Der Entladungsfunken der Batterie schlägt

Fig. 193.



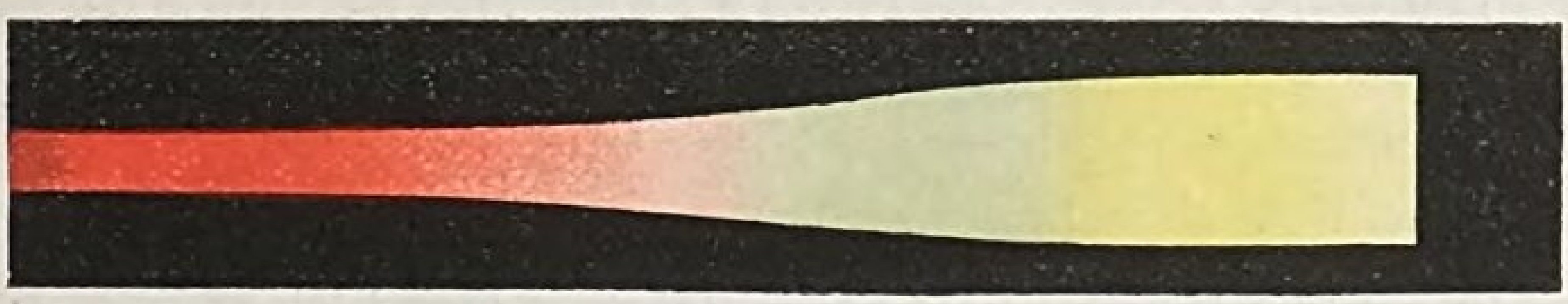
zwischen den Kugeln *a* und *b* über, welche gehörig isolirt in einem Kästchen enthalten sind, welches nur gegen den rotirenden Spiegel hin eine Oeffnung hat. Auf der durch ein Uhrwerk in sehr gleichmässige Rotation versetzten verticalen Axe *xx* sind zwei Hohlspiegel *c* und *d* so befestigt, dass die Axen derselben in eine gerade Linie zusammenfallen. Der Krümmungshalbmesser dieser Hohlspiegel ist ungefähr 0·5 m. An der Umdrehungsaxe ist ein horizontaler Messingstab befestigt, welcher auf beiden Seiten mit horizontalen 2 mm breiten Schneiden endigt, und welcher so gestellt ist, dass diese Schneiden gerade in demselben Moment an den isolirten Drahtenden *f* und *g* vorbeistreifen, in welchem die Funkenstelle bei *ab* in der Verticalebene der Spiegelaxe liegt. Das Drahtende *g* ist mit der Kugel *b* leitend verbunden, das Drahtende *f* mit der äusseren Belegung der Leydener Flasche, es findet also eine Entladung gerade in dem Momente statt, in welchem der rotirende Messingstab an den Drahtenden *f* und *g* vorbeistreift. Die Funkenstelle *ab* befindet sich in diesem Augenblick etwas über dem Krümmungsmittelpunkt des vorderen Hohlspiegels, es muss also das Bild desselben

etwas unter dem Krümmungsmittelpunkte entstehen, und um dieses Bild zu beobachten, ist bei *h* eine mattgeschliffene Glasplatte angebracht, auf welcher man es auffängt.

Als ausser den unentbehrlichen, aus hinlänglich dickem Kupferdraht gebildeten Leitungsdrähten kein weiterer Widerstand in den Schliessungsbogen eingeschaltet war, erschien bei passender Rotationsgeschwindigkeit der Spiegelaxe (ungefähr 50 Umdrehungen in der Secunde) das Funkenbild zu einem hellen Lichtstreif, Fig. 194, verlängert, welcher mit einem blendenden Gelbweiss beginnt, alsbald in Grünlichweiss übergeht und meist mit einem rothen Lichtschweif endigt.

Wahrscheinlich ist nur der weissliche lichtstarke Theil des Funkenbandes unmittelbar von dem Funken erzeugt, während der sehr veränderliche kupferrothe Schweif allein von losgerissenen, noch nicht vollständig abgekühlten Metalltheilchen herrührt.

Fig. 194.



Von der Annahme ausgehend, dass nur der helle Theil des Bildes von Funken selbst herrührt, kann man die Dauer des Funkens aus der Länge des Funkenbandes berechnen. Für eine Flasche von 0·22 qm Oberfläche, bei $4\frac{1}{2}$ mm Schlagweite und 52 Umdrehungen in der Secunde betrug die Länge des lichtstarken Funkenbandes im Mittel $27\frac{1}{2}$ mm, woraus sich eine Funkendauer von 0·00009 Secunden ergiebt, eine Funkendauer, welche 100 mal grösser ist, als die von Wheatstone bestimmte.

Die Dauer der Entladung wird vergrössert:

1. durch die Vergrösserung der Schlagweite,
2. durch die Vergrösserung der Oberfläche der Batterie, wie dies aus folgender Tabelle hervorgeht.

Zahl der Flaschen.	Schlagweite.	Dauer des weisslichen Lichtes.
1	1 1/2 mm	0·00004″
	3 3/4	0·00008
	6 3/4	0·00010
	10	0·00013
4	1 1/2	0·0006
	3 3/4	0·0015

Wenn der Leitungswiderstand des Schliessungsbogens ohne merkliche Verlängerung durch Einschaltung kurzer Stücke schlechtleitender Substanzen, z. B. von Glasröhren, die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt sind, vermehrt wird, so nimmt die Länge des Funkenbandes, also auch die Entladungsdauer ab.

Wenn dagegen der Leitungswiderstand des Schliessungsbogens durch Einschaltung langer Stücke gut leitender Substanzen vermehrt wird, so nimmt die Länge des Funkenbandes zu.

Als z. B. ein 1300 m langer Kupferdraht eingeschaltet wurde, erschien das Funkenbild auf das 3- bis 4 fache verlängert, während es bedeutend verkürzt erschien, als statt jenes Kupferdrahtes eine Röhre mit Schwefelsäure eingeschaltet wurde, deren Leitungswiderstand dem des 1300 m langen Kupferdrahtes gleich war.

Das durch Verlängerung des Schliessungsbogens verlängerte Funkenband erscheint nun aber auch nicht mehr als ein zusammenhängender Lichtstreif, sondern es erscheint in abwechselnd hellen und dunkeln Streifen, also gleichsam in eine Reihe auf einander folgender, durch dunkle Zwischenräume getrennter Funkenbilder zerlegt.

Um diese Unterbrechungen des Funkenbandes besser studiren zu können, photographirte Feddersen dasselbe, indem er eine photographisch präparirte Platte an die Stelle der matten Glastafel h, Fig. 193, setzte. Fig. 195 und 196 stellen zwei solcher photographirter Funkenbilder dar.

Fig. 195.

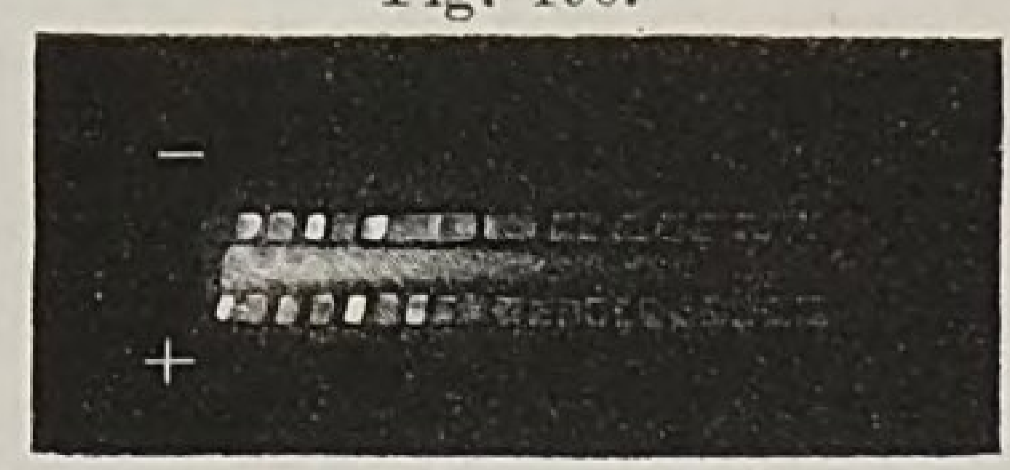
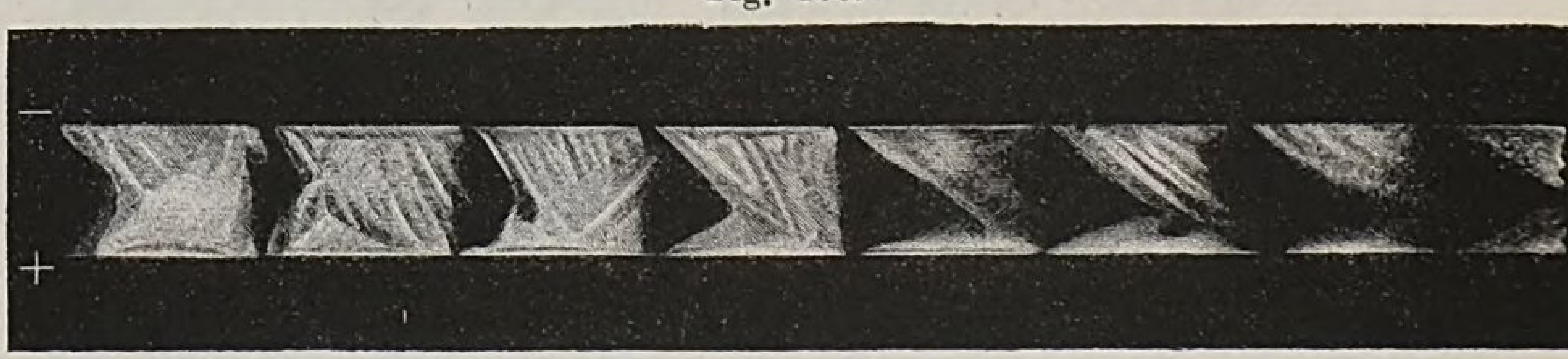


Fig. 196.



Der Funke, welcher zwischen Kupferkugeln bei gutleitendem kürzerem Schliessungsbogen überschlug, lieferte bei 87 Spiegelrotationen in der Secunde das Funkenbild Fig. 196, während Fig. 196 das Bild eines Funkens ist, welcher bei längerem gutleitendem Schliessungsbogen zwischen Zinnkugeln überschlug.

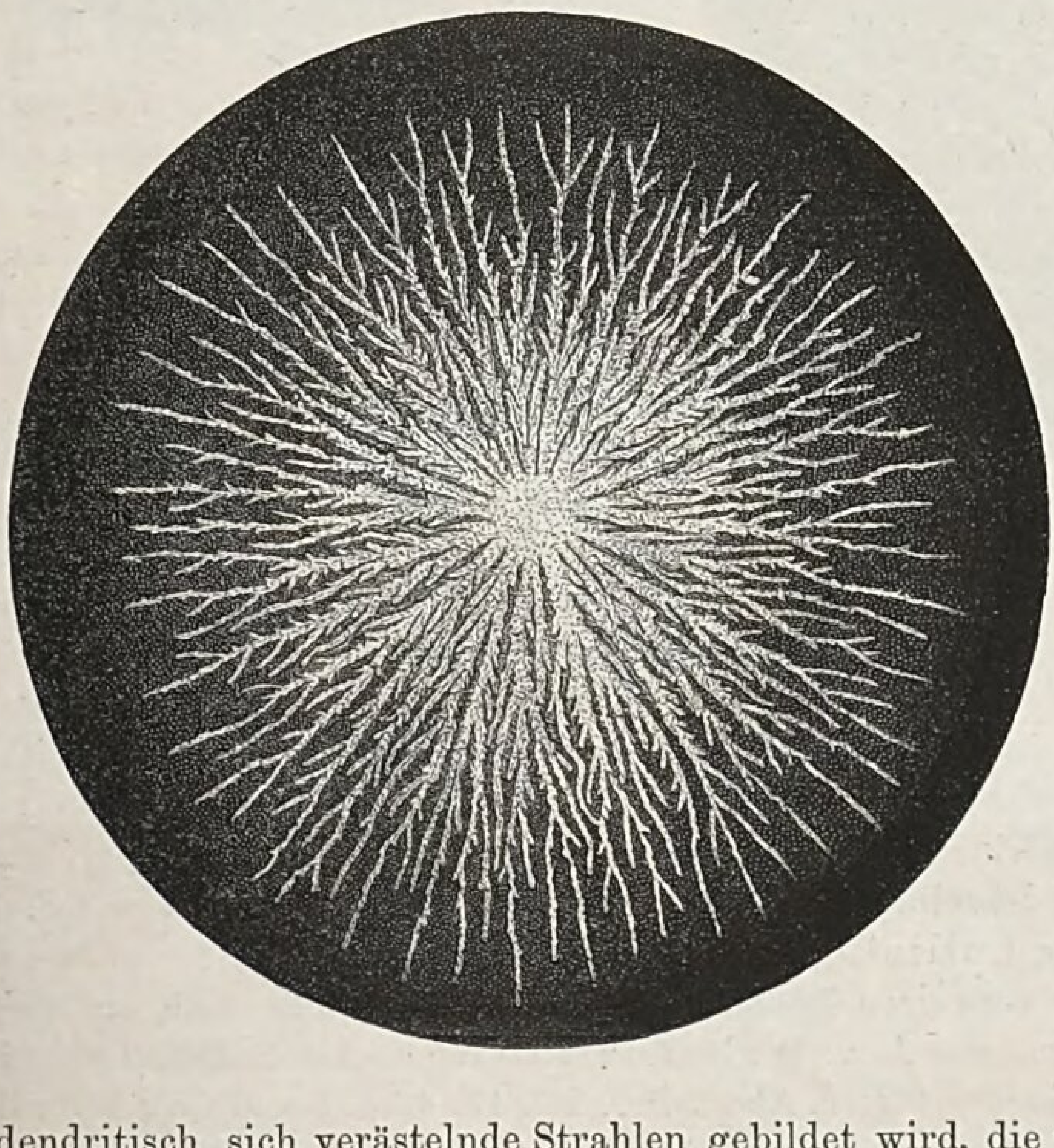
Bei Fig. 195 zeigt sich die Unterbrechung des Lichtbandes nur an den Rändern, hier aber ist ein regelmässiges Alterniren der

Lichtintensität wahrnehmbar. Dieses Alterniren deutet nach Feddersen auf ein Hin- und Herströmen der Elektricität, für welches auch beim Fehlen des Alternirens die stets gleiche Breite der einzelnen Lichtstreifen, wie in Fig. 196, spricht.

Die Richtigkeit dieser Ansicht wird auch durch Paalzow's Versuche über die Entladung der Leydener Flasche durch Geissler'sche Röhren bestätigt, die wir erst später besprechen können.

Die Lichtenberg'schen Figuren. Wenn man den Knopf einer mit positiver Elektricität geladenen Leydener Flasche mit einer Scheibe von Pech oder Schellack berührt, und alsdann *semen lycopodii*, gepulvertes Colophonium, Schwefelblumen oder Mennig aus einem leinenen Beutelchen auf diese Scheibe siebt, so entsteht eine Staubfigur, welche 66

Fig. 197.



durch dendritisch sich verästelnde Strahlen gebildet wird, die von dem berührten Punkte ausgehen.

Fig. 197 zeigt eine genaue Abbildung einer besonders schön gelungenen Staubfigur dieser Art, welche von Brestrich in Berlin erhalten worden ist.

War dagegen die innere Belegung der Leydener Flasche mit negativer Elektricität geladen, so bildet sich diese Strahlenfigur nicht, es entstehen nur rundliche Flecken, deren Ausdehnung bei weitem geringer

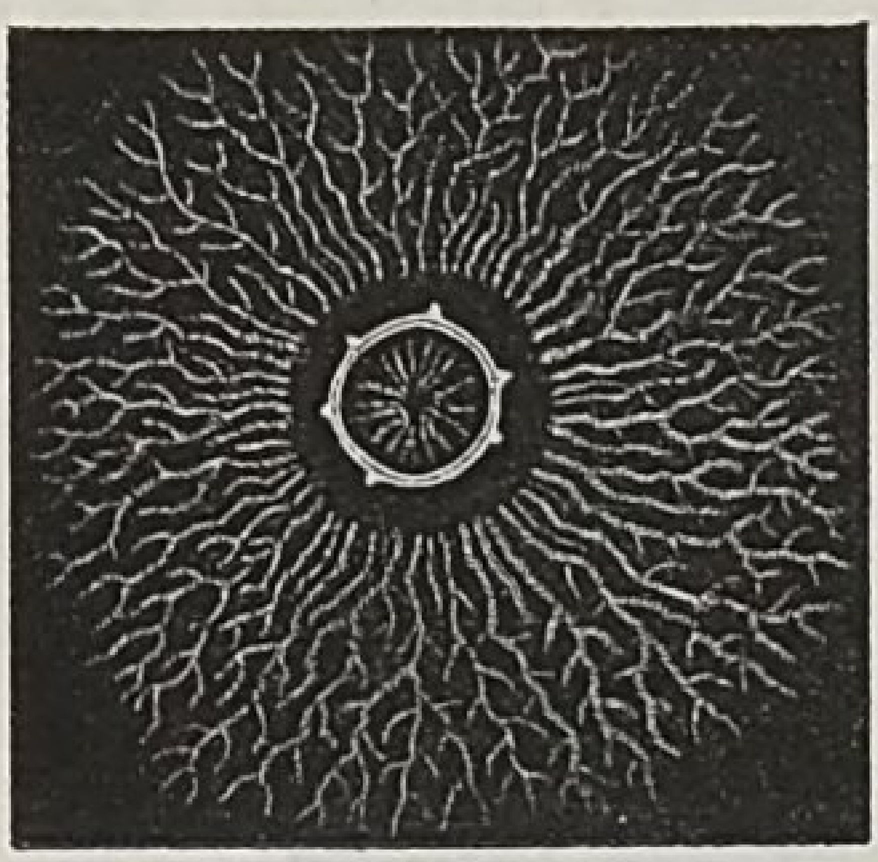
ist als die der positiven Strahlenfigur. Die negative Staubfigur zeigt sich am schönsten bei Anwendung von *semen lycopodii* oder Mennig.

Lichtenberg, welcher der Entdecker dieser Staubfiguren ist, setzte, um dieselben zu erhalten, ein kleines Metallrohr auf die Harzplatte und liess auf dieses den elektrischen Funken schlagen. Fig. 198 stellt die auf diese Weise erhaltene positive Staubfigur dar.

Das Sichtbarwerden dieser Figuren rührt ohne Zweifel daher, dass das Pulver durch die Reibung an den Oeffnungen der Leinwand elektrisch wird und sich auf diejenigen Stellen der Harztafel aufsetzt, welche die entgegengesetzte Elektricität haben.

Man sah früher die Unterschiede der positiven und der negativen Staubfigur für einen charakteristischen Unterschied der beiden Elektricitäten an; dagegen aber spricht der Umstand, dass dieser Unterschied ganz verschwindet, wenn die Harzplatte sich während des Ueberganges der Elektricität unter dem ausgepumpten Recipienten der Luftpumpe befindet. In diesem Falle bilden sich nur kleine rundliche Flecken.

Fig. 198.



Riess (Lehre von der Reibungselektricität, 2. Bd. S. 212) erklärt die Bildung dieser Staubfiguren im Wesentlichen folgendermaassen: „Die vom Knopf der Leydener Flasche ausgehende Elektricität wird zunächst die auf der Oberfläche der Harzscheibe condensirte Atmosphäre von Luft und Wasserdampf zerreissen und über die Harzfläche hintreiben, welche, wie Faraday gezeigt hat, durch Reibung mit Wasserdampf negativ elektrisch wird. Ist nun die Flasche, von deren Knopf die Wirkung ausgeht, mit positiver Elektricität geladen, so wird sich dieselbe über die gleichsam negativ präparirte Fläche weithin dendritisch verbreiten können, während eine gleiche Ausbreitung der negativen Elektricität auf der negativen Oberfläche nicht möglich ist.

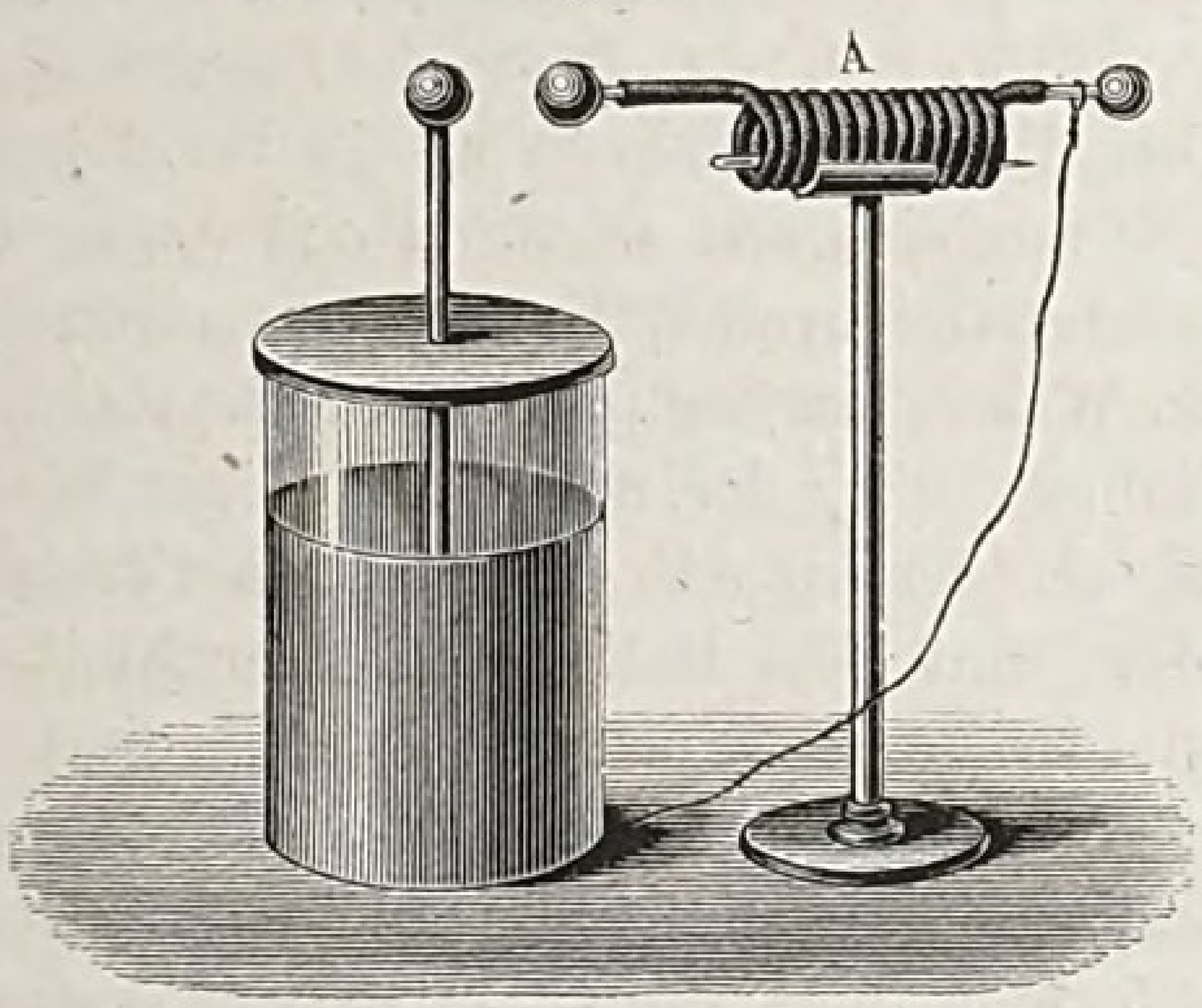
Auf denselben Erklärungsgrund lässt sich auch der auf S. 163 besprochene Lullin'sche Versuch zurückführen.

Wir verweisen bezüglich dieses Gegenstandes noch auf die Untersuchungen von A. v. Waltenhofen (Wien. Akad. Ber. 1866, Bd. 53), E. Reitlinger (Wien. Akad. Ber. Bd. 41, 46, 51 und 53), W. v. Bezold (Münchener Akad. Ber. 1869 und 1870) und auf das Referat von Moritz Kuhn, Wien 1873.

67 **Magnetische Wirkungen des Entladungsschlages.** Entladet man eine Leydener Flasche durch einen spiralförmig gewundenen Draht, dessen einzelne Windungen hinlänglich von einander isolirt sind, so wird eine in die Spirale eingelegte Stahlnadel bleibend magnetisch. Die Ausführung des Versuches ist aus Fig. 199 zu ersehen. Bezüglich

der Anordnung der Pole bemerkt man das unerwartete Resultat, dass bei gleicher Ladung der Flasche der Nordpol bald an dem einen, bald an dem anderen Ende der Stahlnadel auftritt. Es erklärt sich dieses Verhalten jedoch leicht, wenn man den Rückstand der Flasche untersucht, welcher ebenfalls in unregelmässiger Weise das Zeichen wechselt. Da nämlich, wie wir in §. 17 erfahren haben, der Entladungsfunke aus vielen einzelnen alternirenden Entladungen zusammengesetzt ist, so wird die Stahlnadel diejenige Anordnung der Pole erhalten, welche der letzten Partialentladung zukommt. Es stimmt dann diese Anordnung ganz mit der Ampère'schen Regel überein, welche wir für die Einwirkung eines constanten elektrischen Stroms kennen lernen werden. Dasselbe gilt für die Ablenkung magnetischer beweglicher Nadeln durch den Entladungsschlag. Das Magnetischwerden stählerner Geräthe durch Blitzschlag gehört ebenfalls zu dieser Gruppe von Erscheinungen.

Fig. 199.



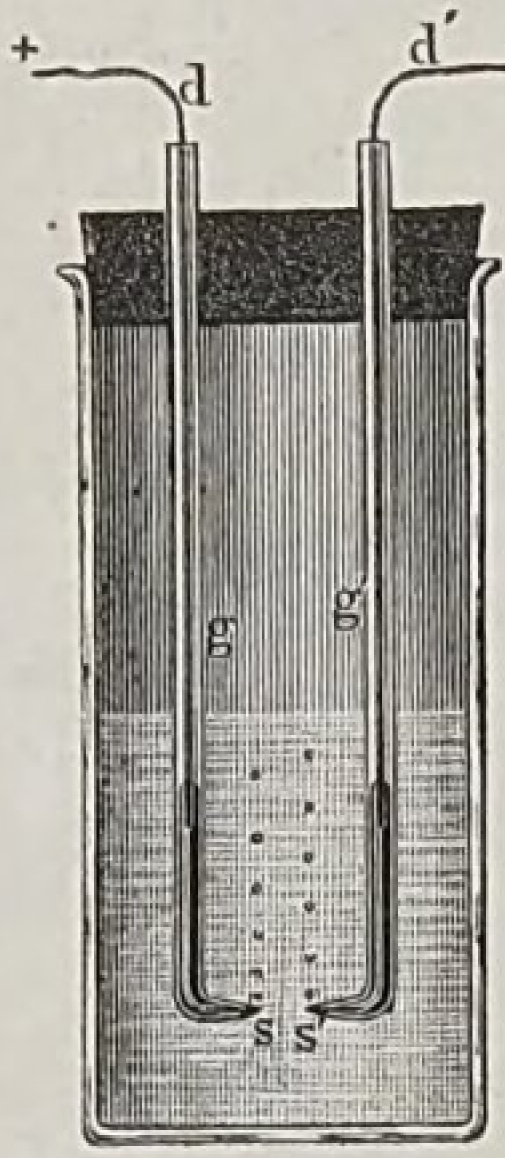
Chemische Wirkungen der Entladung. Die chemischen Wirkungen der sich entladenden Elektricität bestehen insbesondere darin, dass manche Leiter zersetzt werden. Da jedoch die thermischen Wirkungen der Entladung nebenhergehen, so ist nicht immer zu entscheiden, ob die Zersetzung direct die Folge der Elektricität oder zunächst nur die Folge der hohen Temperatur ist, welche durch die Entladung herbeigeführt wird. 68

Schon im Jahre 1789 brachten Päts van Troastwyck und Drimann dadurch eine Wasserzersetzung hervor, dass sie in einer mit Wasser gefüllten Röhre zwischen zwei Golddrähten die Entladungsschläge einer Leydener Flasche übergehen liessen. Wollaston beförderte die Wasserzersetzung der Reibungselektricität dadurch, dass er die Berührung der Poldrähte mit dem Wasser möglichst beschränkte, was er dadurch bewerkstelligte, dass er feine Golddrähte (gegenwärtig wendet man statt dessen Platindrähte an) in Haarröhrchen von Glas einschmolz und das auf der einen Seite hervorragende Drahtstück bis auf das Glas wegfeilte, so dass in Wasser eingetaucht der Draht nur noch mit seinem Querschnitte mit dem Wasser in Berührung stand.

Stellt man zwei solcher Wollaston'scher Spitzen, Fig. 200, in Wasser einander gegenüber, so erhält man an jeder derselben eine Gasentwickelung wenn man den einen Draht zum Boden ableitet und auf den anderen vom Conductor der Elektrisirmaschine ungefähr 1 mm lange Fünkchen überschlagen lässt.

Wollaston fand, dass bei diesem Verfahren an jeder Polspitze Sauerstoffgas und Wasserstoffgas zugleich frei wird. Buff dagegen erhielt aus luftfreiem destillirten oder schwach gesäuerten Wasser an der positiven Polspitze reines Sauerstoffgas, über der negativen reines Wasserstoffgas, als der eine Draht mit dem Conductor, der andere mit dem Reibzeuge einer Elektrisirmaschine in Verbindung gesetzt und diese umgedreht wurde; und zwar erhielt er während eines dreistündigen Drehens 42·5 cmm Wasserstoffgas und 14·5 cmm Sauerstoffgas. Ersetzt man das Wasser durch eine Lösung von Kupfervitriol, so erhält man nun am positiven Pole eine Entwickelung von Gasbläschen, während sich am negativen Pole Kupfer absetzt.

Fig. 200.



Wenn man auf eine Glasplatte ein Stückchen Papier legt, welches mit einer Lösung von Glaubersalz getränkt ist und dessen eine Hälfte mit Curcumatinctur gelb, dessen andere Hälfte aber durch Lackmustinctur blau gefärbt ist, wenn man alsdann auf die Lackmushälfte einen Draht aufsetzt, welcher mit dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung steht, während ein die andere Hälfte des Papiers berührender Draht zum Boden abgeleitet ist, Fig. 201, so entsteht um den positiven Poldraht herum ein rother, um den negativen ein brauner Fleck, sobald die Maschine einige Zeit lang gedreht wird.

Faraday änderte diesen Versuch auch dahin ab, dass er ein auf ähnliche Weise präparirtes Stückchen Papier, von einem Glasstreifen getragen, so zwischen zwei Platinspitzen brachte, dass das Papier nicht in unmittelbarer Berührung mit den Spitzen stand, Fig. 202; die dem

Fig. 201.

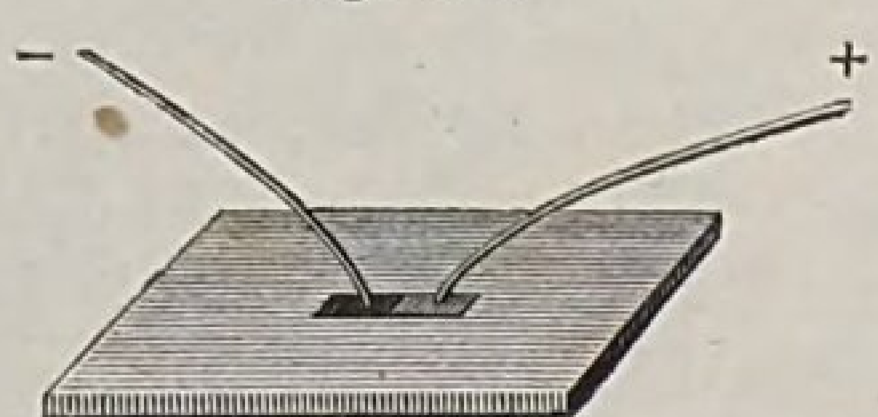
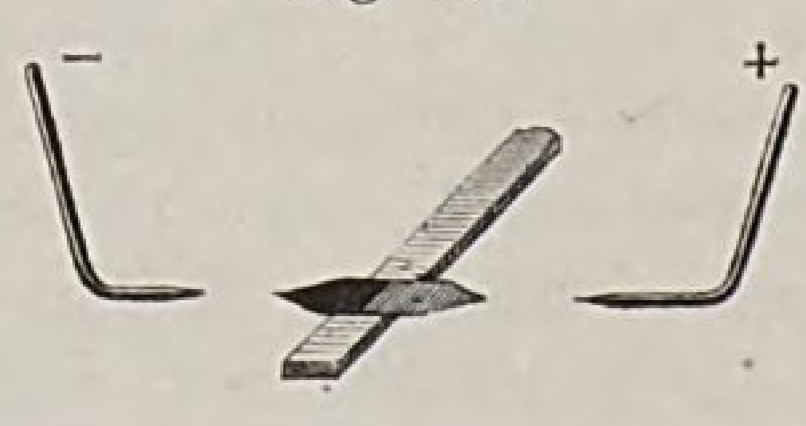


Fig. 202.



Lackmusende zugekehrte Spitze wurde mit dem positiven Conductor der Maschine in Verbindung gesetzt, die andere zum Boden abgeleitet. Die durch die Drehung der Maschine bewirkte Zersetzung des Salzes wurde

alsbald, wie im vorigen Versuche, durch eine Farbenänderung merklich gemacht.

Eine andere chemische Wirkung ist die Umwandlung des Sauerstoffs der Luft in Ozon. Nach Ansicht der Chemiker wird der aus zwei Atomen bestehende gewöhnliche Sauerstoff O_2 gespalten und die Bestandtheile treten mit unzersetzten Sauerstoffmolecülen zu Ozon von der Zusammensetzung O_3 zusammen. Ozon ist demnach eine polymere Modification des Sauerstoffs, welche sich durch eigenthümlichen Geruch und energisch oxydirende Eigenschaften auszeichnet. Dieser Körper entsteht stets in geringer Menge, wenn Elektricität durch Spitzen in die Luft ausströmt. Der Geruch erinnert an Phosphor, weil ebenfalls Ozon entsteht, wenn feuchter Phosphor mit Luft in Berührung ist. Man kann die Gegenwart des Ozons nachweisen, indem man dasselbe auf Papierstreifen wirken lässt, die mit Stärkekleister und Jodkalium bestrichen sind. Das durch Ozon in Freiheit gesetzte Jod färbt den Kleister intensiv blau.

Die chemischen Wirkungen der Entladung einer Leydener Flasche oder des Funkenstromes einer Influenzmaschine sind der Quantität nach nur sehr gering gegenüber der chemischen Wirkung des später zu besprechenden galvanischen Stromes.

Die elektrische Spannung als Form der Energie. S. 464 69
des 2. Bandes II. Abth. haben wir in dem Schema der verschiedenen Formen der Energie auch die elektrische Spannung als potentielle Energie aufgeführt. Dass die Hervorbringung des elektrischen Zustandes nicht ohne Aufwand einer anderen Energie möglich ist, lehrt die Erfahrung.

Wenn wir die Reibungselektrisirmaschine drehen, so übertragen wir auf dieselbe ein gewisses Arbeitsquantum, also ein gewisses Quantum actueller Energie. Dasselbe wird zum Theil in Wärme, zum Theil in elektrische Energie umgewandelt. Doch dürfte es schwierig sein, in diesem Falle durch Messung die Umwandlung zu verfolgen und nachzuweisen, dass die erzeugte Wärme allein nicht das volle Aequivalent der aufgewendeten Arbeit ist. Sehr leicht ist dagegen dieser Nachweis an der Influenzmaschine zu führen, da bei derselben die Reibung sehr gering ist. Dreht man eine nicht geladene Influenzmaschine mit constanter Geschwindigkeit und nähert sodann die vorher geriebene Hartgummiplatte dem Papierbelege, so fühlt man sehr deutlich in demselben Moment, in welchem sich das Eintreten der Wirksamkeit der Maschine durch das Sausegeräusch ankündigt, eine auffallende Vermehrung des Widerstandes und man ist genöthigt, um die frühere Drehungsgeschwindigkeit beizubehalten, mehr Kraft aufzuwenden. Umgekehrt beobachtet man sehr deutlich, dass die Maschine in dem Moment, wo sie durch genügende Entfernung der Elektrodenkugeln sich entladet und aufhört, Elektricität zu entwickeln, schneller zu laufen beginnt, dass also

der bis dahin in elektrische Energie umgewandelte Arbeitsaufwand nunmehr zur Steigerung der lebendigen Kraft der rotirenden Scheibe verfügbar geworden ist.

Sowie elektrische Spannung aus aufgewendeter Arbeit hervorgehen kann, so kann sie wieder rückwärts zur Arbeitsleistung verbraucht werden. Beispiele sind die Spielereien, wie z. B. der Puppentanz, das elektrische Glockenspiel etc. Ein sehr instructives Beispiel ist die Ingangsetzung einer zweiten Influenzmaschine durch eine erste, deren Elektroden man entsprechend mit denen der zweiten verbunden hat. Wir übertragen Arbeit auf die erste Maschine, sie verwandelt dieselbe in elektrische Spannung. Auf der zweiten Maschine wird diese Spannung wieder verbraucht, um dieselbe zu treiben, wobei freilich ein Theil schon unterwegs in Wärme verwandelt wird, weshalb die zweite Maschine nicht ebenso viel Energie abgeben kann, als die erste aufnimmt.

Die Umwandlung in Wärme, eine andere Form der Energie, ist der häufigste Process, der das Verschwinden der elektrischen Spannung begleitet. Sehr oft gehen beide Umwandlungen neben einander vor sich. Wenn wir z. B. den Conductor der gewöhnlichen Elektrisirmaschine mit dem Reibzeuge verbinden und dann drehen, so wird alle Spannung ausgeglichen und längs der Leitung in Wärme verwandelt. Wenn wir aber eine Luftschicht einschalten, so erhalten wir Funken. Es entsteht ein Knall, das heisst eine Lufterschütterung, wozu actuelle Energie verbraucht wird. Ausserdem wird die Luft zum Glühen erhitzt und die Leitung erwärmt. Entladen wir eine Leydener Flasche, so treten dieselben Umwandlungen ein. Wenn man daher eine und dieselbe Flasche mehrmals ganz gleich stark ladet, so müssen jedesmal die bei der Entladung auftretenden Wirkungen äquivalent sein. Würde man also jedesmal alle auftretenden Energieformen auf ein und dieselbe, z. B. auf Wärme, umrechnen, so müsste stets dasselbe Wärmequantum resultiren, welches wir daher als Aequivalent der verlorenen Ladung betrachten müssen.

Entladen wir nun die Flasche einmal mit einem kurzen, das andere Mal mit einem langen Drahtbogen, so ist die Wärmeentwickelung des Drahtes im Ganzen im zweiten Falle grösser, dafür ist aber auch der Funke schwächer und weniger glänzend, die Luft wird also weniger heftig erschüttert und weniger hoch erhitzt. Schaltet man in die Funkenstrecke ein Kartenblatt ein, welches der Funke durchbohren muss, so braucht er dazu mehr Arbeit, desto weniger Wärme kann er dann im übrigen Leiter entwickeln. Diese Thatsachen sind von Riess mittelst des oben beschriebenen Luftthermometers nachgewiesen worden. So erhielt Riess z. B. folgende Depressionen des Luftthermometers, wenn der Funke durchzuschlagen hatte:

durch Luft allein:	Depression	= 15·9
durch ein Kartenblatt:	„	= 11·7
durch zwei Kartenblätter:	„	= 8·0
durch ein Glimmerblatt:	„	= 6·8

Man sieht also deutlich, dass der Mehraufwand von Energie in der Funkenstrecke von einer Minderentwickelung an Wärme im Drahte begleitet ist, wie es das Aequivalenzgesetz erfordert.

Es steht also fest, dass die Elektricitätsspannung eine Form der Energie ist, da sie aus anderen Energieformen entstehen und wieder in solche verwandelt werden kann. Es fragt sich nun, ob wir sagen können, dass Elektricitätsmengen und Wärmemengen äquivalent seien, so wie etwa Arbeitsquantitäten und Wärmemengen äquivalent sind. Können wir analog der Wärmeeinheit oder Calorie eine Einheit der Elektricitätsmenge oder Elektrie bilden, welche zu der Calorie in einem analogen Aequivalentverhältniss steht, wie die Arbeitseinheit zur Calorie?

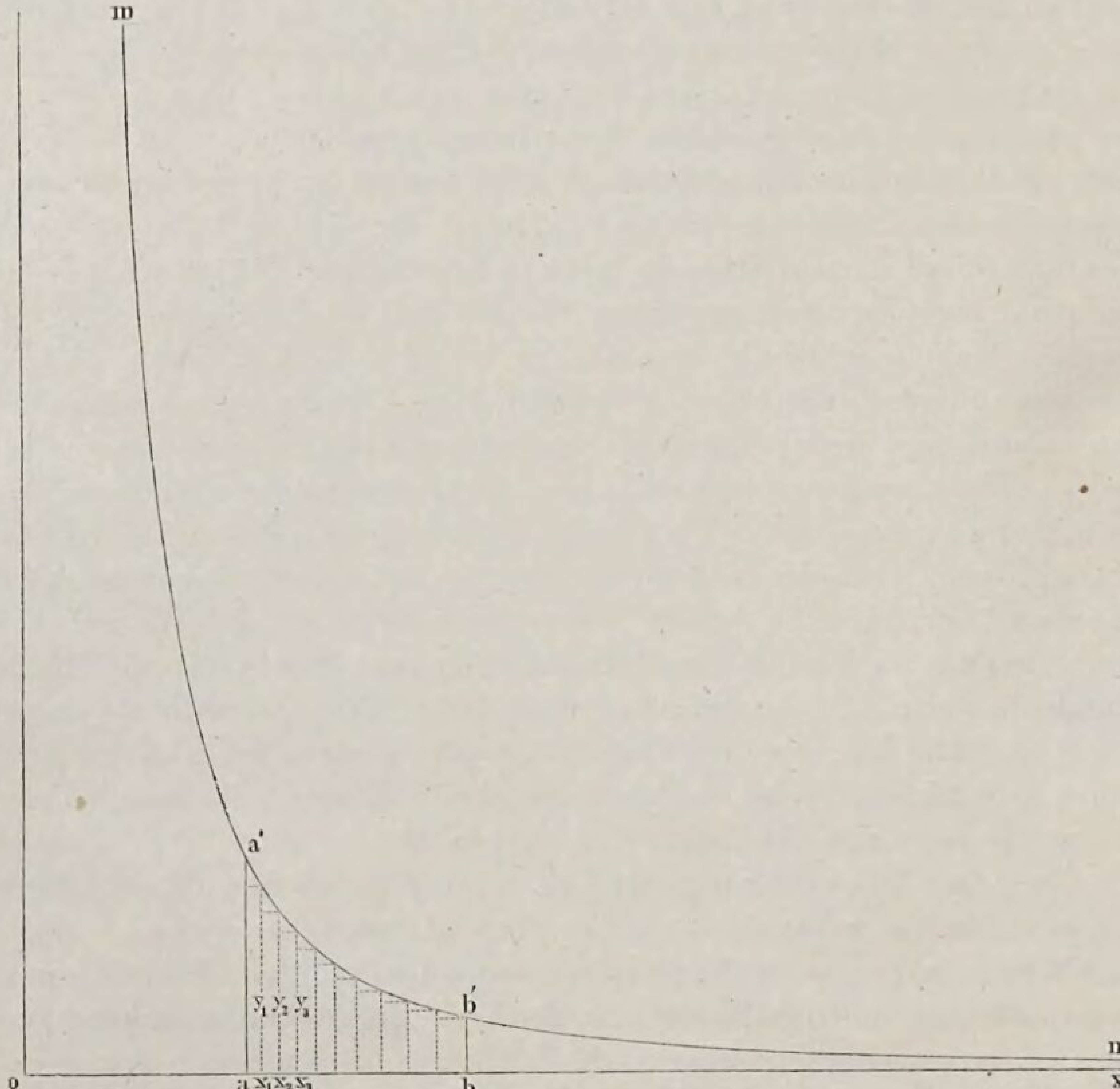
Eine einfache Betrachtung ergiebt, dass dies in dieser Weise nicht möglich ist, dass nicht die Elektricitätsmenge diejenige Grösse ist, welche der Wärmemenge oder den anderen Energiegrössen äquivalent gesetzt werden kann. Denken wir uns zwei kleine isolirte Kugeln mit den gleichen entgegengesetzten Elektricitätsmengen $+E$ und $-E$ geladen und dann in einen Abstand a gebracht, welcher relativ gross gegenüber den Dimensionen der Kugeln ist. In diesem Falle wird zwar ebenfalls durch gegenseitige Influenz auf jeder der beiden Kugeln eine Quantität positiver und negativer Elektricität geschieden werden. Da aber die Kugeln relativ klein sind, so heben sich Anziehung und Abstossung dieser durch Influenz entwickelten Elektricitäten nahezu auf, so dass wir nur die ursprünglich vorhandenen Elektricitätsmengen $+E$ und $-E$ als wirksam vorhanden zu betrachten haben. Wenn wir nun die mit einer gewissen Kraft sich anziehenden Kugeln auf einen grösseren Abstand b von einander entfernen wollen, so müssen wir dazu eine Arbeit aufwenden. Dieselbe Arbeit können umgekehrt die Kugeln leisten, wenn sie sich wieder auf die Distanz a nähern. Das System der beiden Kugeln hat also offenbar im Abstand b mehr Energievorrath als im Abstande a. Die Energie desselben hängt also nicht allein von der wirksamen Elektricitätsmenge, welche in beiden Fällen dieselbe war, sondern ausserdem noch von der Lage der Kugeln ab.

Zwischen Elektricitätsmenge und Wärmemenge eine Aequivalenz aufsuchen, wäre ebenso irrthümlich, als wenn man zwischen Masse und Wärmemenge eine Aequivalenz aufstellen wollte. Eine Masse befindet sich einer anderen Masse, z. B. der Erde, gegenüber in analoger Lage wie zwei entgegengesetzt elektrische Körper. Sie ziehen sich gegenseitig an und zwar auch mit einer Kraft, die mit dem Quadrat der Distanz abnimmt. Ein Kilogramm enthält als Masse für sich noch keine Energie, sondern nur, indem es von der Masse der Erde einen Abstand besitzt, der verringert werden kann. Bei dem grossen Abstande vom Mittelpunkte der Erde kann man die Anziehungskraft innerhalb einer kleinen Fallhöhe constant setzen und die Arbeit als Product von Höhendifferenz mit der Anziehungskraft berechnen. Eine analoge Abkürzung der Rechnung ist bei der elektrischen Energie selten anwendbar, weil die Distanz-

änderung im Vergleiche zur Distanz selbst in der Regel nicht klein genug ist, um die Kraft als constant betrachten zu können. Es handelt sich demnach darum, für die Aenderungen der elektrischen Energie einen Ausdruck zu gewinnen, den wir dann als vergleichbar mit der Aenderung des Wärmeinhalts eines Körpers, oder irgend einer anderen Form seiner potentiellen Energie betrachten dürfen. Ein solcher Ausdruck ist das Potential. Wir wollen versuchen, von dieser Grösse, soweit dies ohne höhere Rechnung möglich ist, eine Vorstellung zu verschaffen.

70 **Begriff des elektrischen Potentials.** Denken wir uns die beiden Elektricitätsmengen E und E' in zwei Kugeln von verschwindend

Fig. 203.



kleinen Dimensionen oder in zwei Punkten concentrirt, welche den Abstand r besitzen. Nach Coulomb's Gesetz ist dann die anziehende oder abstossende Kraft zwischen denselben direct proportional den Mengen E und E' und verkehrt proportional dem Quadrat der Entfernung. Es ist also diese Kraft gegeben durch den Ausdruck:

$$k\,\frac{E\,E'}{r^2},$$

wo k einen constanten Factor bedeutet, dessen Grösse von dem Maasse abhängt, mit welchem E und E' gemessen werden. Wählen wir dieses Maass so, dass wir jene Elektricitätsmenge $= 1$ setzen, welche auf eine gleiche Menge in der Entfernung 1 die Kraft $= 1$ ausübt, so wird der Werth von $k = 1$ und zwar $+ 1$, wenn wir Abstossung als positiv, Anziehung als negativ rechnen. Die Kraft wird dann ausgedrückt durch

$$\frac{E\,E'}{r^2}$$

und in dem speciellen einfachsten Falle, wo $E = E' = 1$ ist, durch $\frac{1}{r^2}$. Denken wir uns nun im Punkte o der Fig. 203 die Elektricitätsmenge $+ 1$ concentrirt, im Abstande $o\,a = a$ ebenfalls die Elektricitätsmenge $+ 1$ befindlich. Der Punkt o sei fest, der Punkt a auf der Geraden ox beweglich. Um eine Uebersicht über die Abstossungskraft zu erhalten, welche in verschiedenen Abständen auftritt, construiren wir uns über $o\,x$ als Abscissenaxe eine Curve $m\,a'\,n$ von der Gleichung $y = \frac{1}{x^2}$. Für $x = 1$ wird $y = 1$, für $x = 2$, $y = \frac{1}{4}$, für $x = \frac{1}{2}$, $y = 4$ u. s. f., für $x = \infty$, $y = 0$, für $x = 0$, $y = \infty$. Die Curve erstreckt sich also mit beiden Aesten ins Unendliche und nähert sich immer mehr den Coordinatenaxen.

Nun stellen wir uns die Aufgabe, die Arbeit zu berechnen welche aufgewendet werden muss, um den elektrischen Punkt aus der Lage b in die Lage a zu bringen, so dass er um die Strecke $b\,a$ dem elektrischen Punkte in o genähert wird.

Diese Arbeit ist offenbar gegeben durch den Flächeninhalt des Stückes $a\,a'\,b'\,b$, welches zwischen den Ordinaten für a und b unter der Curve enthalten ist.

Um diesen Flächeninhalt auf elementare Weise zu berechnen, verfahren wir folgendermaassen. Wir schalten zwischen den Punkten a und b noch eine Anzahl von Zwischenpunkten $x_1, x_2, x_3 \ldots x_{n-1}$ ein, so dass der Abstand $a\,b$ in n (ungleiche) Abschnitte getheilt wird. Diese Zwischenpunkte wählen wir so, dass die Abscissenwerthe $o\,a$, $o\,x_1$, $o\,x_2$, $o\,x_3 \ldots$ bis $o\,b$ eine geometrische Reihe bilden. Der Exponent q dieser Reihe muss demnach der Gleichung genügen: $b = a\,q^n$, woraus $q = \sqrt[n]{\frac{b}{a}}$ folgt.

Die Reihe der Abscissenwerthe wird also sein:

$$a,\ a\,q,\ a\,q^2,\ a\,q^3 \ldots a\,q^{n-1},\ b,$$

die diesen Abscissen entsprechenden Ordinaten müssen gemäss der Beziehung $y = \frac{1}{x^2}$ folgende sein:

$$\frac{1}{a^2},\ \frac{1}{a^2 q^2},\ \frac{1}{a^2 q^4},\ \frac{1}{a^2 q^6} \cdots \frac{1}{a^2 q^{2n-2}},\ \frac{1}{b^2}.$$

Einer beliebigen Abscisse $a\,q^r$ wird also die Ordinate $\frac{1}{a^2\,q^{2r}}$ entsprechen. Construiren wir nun die in der Figur angedeuteten Rechtecke, deren gesammter Flächeninhalt die gesuchte Fläche um so genauer ausfüllt, je grösser die Anzahl n derselben genommen wird, so erhalten wir für den Flächeninhalt des rten Rechtecks den Ausdruck:

$$(a\,q^r - a\,q^{r-1})\,\frac{1}{a^2\,q^{2r}} = \frac{q-1}{a}\cdot\frac{1}{q^{r+1}}.$$

Die Summe aller Rechtecke ist demnach gleich

$$\frac{q-1}{a}\left(\frac{1}{q^2}+\frac{1}{q^3}+\frac{1}{q^4}+\cdots\frac{1}{q^{n+1}}\right)=\frac{q^n-1}{a\,q^{n+1}}.$$

Da nun $q^n = \frac{b}{a}$, so folgt nach Substitution für den Flächeninhalt sämmtlicher Rechtecke der Ausdruck

$$\frac{1}{q}\,\frac{b-a}{b\,a} = \frac{1}{q}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right).$$

Denkt man sich jetzt die Anzahl der eingeschalteten Rechtecke immer grösser werdend, so wird q immer näher $= 1$, zugleich nähert sich der Flächeninhalt der Rechtecke immer mehr dem gesuchten Flächeninhalt des Stückes $a\,a'\,b'\,b$. Derselbe wird daher erhalten, indem man $q = 1$ setzt.

Daraus folgt dann Flächeninhalt $a\,a'\,b'\,b = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}$.

Derselbe Ausdruck stellt also auch die Arbeit dar, die aufgewendet werden muss, um einen mit der Elektricität Eins geladenen Punkt einem eben solchen Punkte aus der Distanz b bis auf die Distanz a zu nähern. In unserer Figur ist $a = 1$, $b = 2$ angenommen. Die Arbeit beträgt in diesem Falle $\frac{1}{1} - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$.

Um die Arbeit zu berechnen, welche aufgewendet werden muss, um den mit der Elektricität Eins geladenen Punkt aus unendlicher Entfernung dem anderen Punkte bis auf die Distanz a zu nähern, setzen wir $b = \infty$ und erhalten hiermit diese Arbeit $= \frac{1}{a} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{a}$. Ist also, wie in unserer Figur, $a = 1$, so ist diese Arbeit auch $= 1$. Nimmt a der Reihe nach die Werthe $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6} \cdots \frac{1}{r}$ an, so sind die zugehörigen Arbeitsgrössen $= 2, 3, 4, 5, 6 \ldots r$.

Um also die beiden der Einheit gleichen Elektricitätsmengen aus unendlicher Distanz auf die Distanz r zu nähern, muss die Arbeit $= \frac{1}{r}$ aufgewendet werden.

Umgekehrt werden daher auch die im Abstande r befindlichen Elektricitätsmengen eine Arbeit $= \frac{1}{r}$ leisten können, indem sie sich auf un-

endliche Distanz entfernen. Mithin ist $\frac{1}{r}$ die Arbeitsfähigkeit des Systems.

Ist die Elektricitätsmenge im beweglichen Punkte nicht Eins, sondern E, so ist die Arbeitsfähigkeit des Systems beim Abstande r gegeben durch: $V = \frac{E}{r}$; dieser Ausdruck wird die Potentialfunction genannt.

Steht einem Punkte mit der Elektricität Eins ein System von elektrischen Punkten mit den Elektricitätsmengen E_1, E_2, E_3 . . . in den Abständen r_1, r_2, r_3 . . . gegenüber, so heisst man den Ausdruck

$$V = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3} \cdots = \Sigma \frac{E}{r}$$

die Potentialfunction des Punktsystems gegenüber dem ersteren Punkte. Tritt an die Stelle dieses ersteren Punktes ein System elektrischer Punkte mit den Elektricitätsmengen E'_1, E'_2, E'_3 · · · und der oben definirte Werth V hat für diese Punkte die Werthe V_1, V_2, V_3 . . ., so heisst der Ausdruck

$$E'_1 V_1 + E'_2 V_2 + E'_3 V_3 + \cdots = \Sigma E' V$$

das Potential der einen Elektricitätsmenge auf die andere. Dasselbe stellt also die Summe aller Producte je einer Elektricitätsmenge eines Punktes des einen Systems mit je einer solchen des zweiten Systems, jedes Product dividirt durch die Distanz, dar. Daraus folgt auch, dass das Potential des Systems I auf das System II gleich ist dem Potential des Systems II auf das System I.

Fasst man dagegen nur ein einziges System elektrisirter Punkte mit den Elektricitäten E_1, E_2, E_3 ins Auge und bildet zunächst den Ausdruck der Potentialfunction dieser Punkte auf einen derselben, also die oben mit V bezeichnete Grösse, nur mit dem Unterschied, dass sich dieselbe auf einen Punkt des eigenen Systems bezieht, rechnet dann ebenso dieselbe Grösse für einen zweiten, dritten, endlich für alle Punkte, so heisst die Hälfte der Summe dieser Grössen, nämlich der Ausdruck $\frac{1}{2} \Sigma V E$, das Potential der Elektricitätsmenge auf sich selbst. Dasselbe ist also die Summe aller Producte je einer Elektricitätsmenge eines Punktes mit der eines anderen, jedes Product dividirt durch die Entfernung der Punkte. Dabei darf jede Combination nur einmal vorkommen und deshalb ist der Summe $\Sigma V E$, in welcher jede Combination zweimal vorkommen würde, der Factor $\frac{1}{2}$ beizusetzen.

In Wirklichkeit hat man es nun nie mit Punkten und Punktsystemen, sondern mit continuirlichen Körpern und Elektricitätsmengen zu thun. Die Integralrechnung lehrt auch in diesem Falle die Potentialwerthe berechnen und sie zeigt, dass das Potential einer Elektricitätsmenge auf sich selbst nicht, wie man auf den ersten Blick meinen möchte, unendlich gross wird, sondern einen angebbaren Werth behält. Wir können

mit den elementarmathematischen Hilfsmitteln diesen Berechnungen nicht weiter folgen und müssen uns begnügen, auf die ausgeführte Weise den Begriff des Potentials erläutert zu haben. Die physikalische Bedeutung des Potentials ist nach Obigem leicht zu übersehen, wir wollen sie nochmals zusammenfassen.

I. Die Arbeit, welche bei der Aenderung der Lage zweier Elektricitätsmengen gegen einander gewonnen oder verbraucht wird, ist gleich der Aenderung ihres Potentials auf einander beim Uebergang aus der ersten in die zweite Lage.

II. Die Arbeit, welche aufgewendet werden musste, um irgend welche Elektricitätsmengen in irgend einer gegebenen Lage hervorzubringen und welche wieder gewonnen werden kann, indem der elektrische Zustand verschwindet, ist gleich dem Potential dieser Elektricitätsmengen auf sich selbst.

Wenn man die beiden auf einander wirkenden Elektricitätsmengen als ein einziges System auffasst, so kann man die vorstehenden beiden Sätze in einen einzigen Satz zusammenfassen, welcher lautet: Die Aenderung des Potentialwerthes eines Systems auf sich selbst ist gleich der beim Uebergange aus dem einen Zustand in den anderen geleisteten Arbeit.

Dabei ist jedoch entwickelte Wärme oder irgend eine andere auftretende Energie auch als Arbeit mit in Rechnung zu bringen. Wir würden also noch besser sagen: Die Aenderung der Werthe des Potentials auf sich selbst ist gleich der Aenderung des Energieinhalts.

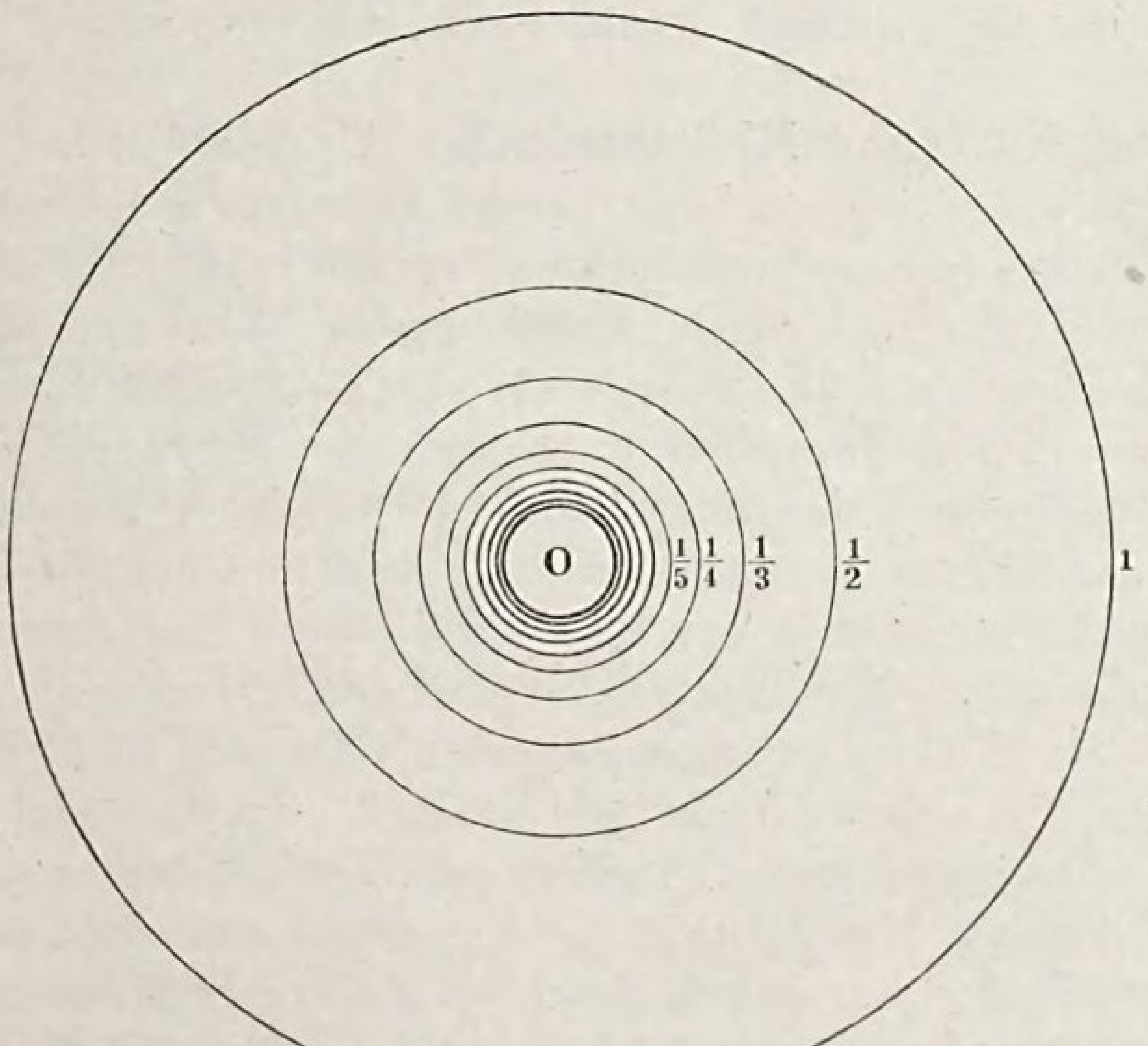
Der absolute Werth des Potentials ist nicht bestimmbar. Wenn man von dem Potentialwerth eines Körpers spricht, so meint man damit die Differenz zwischen seinem Potentiale und jenem der Erde, d. h. man setzt das Potential der Erde stillschweigend gleich Null.

71 **Potentialniveauflächen.** Im vorigen Paragraphen haben wir abgeleitet, dass bei der Annäherung zweier gleichnamig elektrischer Punkte, deren jeder die Einheit der Elektricität enthält, aus unendlicher Distanz auf die Abstände $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4} \cdots \frac{1}{r}$ die Arbeitsmengen 1, 2, 3, 4 . . . r aufgewendet werden müssen. Denken wir uns nun um einen dieser Punkte O, Fig. 204, eine Anzahl von Kugelflächen, die in der Zeichnung als Kreise erscheinen, mit den Radien $r = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4} \ldots$ bis $\frac{1}{10}$ herumgelegt. Denken wir uns dann den zweiten elektrischen Punkt aus unendlicher Entfernung kommend dem ersten immer mehr genähert, so wird jedesmal um eine Arbeitseinheit mehr aufgewendet sein, so oft der bewegliche Punkt eine der Kugelflächen in der Richtung nach Innen

passirt hat und die elektrische Energie des Systems ist dann jedesmal um eine Arbeitseinheit grösser geworden. Dabei ist es offenbar ganz gleichgültig, auf welchem Wege die Annäherung erfolgte, sie braucht nicht längs eines Radius vor sich zu gehen. Bewegt sich der elektrische Punkt längs einer Kugelfläche, so wird keine Arbeit verbraucht oder erzeugt.

Solche Flächen, welche diese Eigenschaft haben, dass die Bewegung eines Elektricitätsquantums längs derselben keine Aenderung der Energie zur Folge hat, heisst man Potentialniveauflächen. Es sind die Flächen gleichen elektrischen Potentials. Nicht immer haben diese Flächen, wie in unserem einfachen Falle, die Gestalt von Kugelflächen, stets aber haben sie die Eigenschaft, dass sie senkrecht stehen auf die Richtung der Kraft. Ferner ist sehr leicht einzusehen, dass die Niveauflächen einander desto näher stehen, je grösser die Kraft ist. Da nämlich von Niveaufläche zu Niveaufläche die Arbeit (das Product aus Kraft und Weg) gleich gross ist, so muss die Kraft desto grösser sein, je kleiner der Weg (der Abstand) ist. In Fig. 204 nehmen deshalb

Fig. 204.



die Abstände der Kreise in demselben Verhältnisse ab, als die Kraft in Folge der Annäherung zunimmt.

In grosser Entfernung vom elektrischen Körper rücken die Niveauflächen viel weiter aus einander und wenn man dann noch zahlreiche Niveauflächen einschaltet, welche gleichen Bruchtheilen einer Arbeitseinheit entsprechen, so werden auch die Abstände benachbarter Niveauflächen sehr nahe gleich gross sein. Man heisst nun jeden Raum, der einer elektrischen Fernwirkung ausgesetzt ist, ein elektrisches Feld,

einen solchen Raum, in welchem die Niveauflächen lauter parallele gleichabstehende Ebenen sind, ein gleichförmiges elektrisches Feld. Ein solches findet sich, wie eben erwähnt, angenähert in grösserem Abstande vom elektrischen Körper.

Befindet sich die Elektricität auf einem leitenden Körper im Gleichgewicht, so muss offenbar das Potentialniveau für alle Punkte der Oberfläche gleich gross sein, denn sonst wäre ja eine Kraft vorhanden, welche die Elektricität in Bewegung setzen würde. Aus gleichem Grunde muss das Potential für alle Punkte des Inneren gleich sein.

Das in diesem und dem vorigen Paragraphen über das elektrische Potential Mitgetheilte gilt ganz ebenso für das magnetische Potential, wenn man nur überall statt Elektricitätsmenge setzt Menge des freien Magnetismus.

Indem wir diese leider nur sehr lückenhaften Erörterungen schliessen, verweisen wir behufs eingehender Studien über diesen Gegenstand auf die ausgezeichneten Werke von R. Clausius: „Die Potentialfunction und das Potential", Leipzig, Barth, dann insbesondere: „Die mechanische Behandlung der Elektricität," Braunschweig, Fr. Vieweg und Sohn 1879.

72 **Atmosphärische Elektricität.** Als Wall zum ersten Male an einem grossen geriebenen Harzcylinder einen etwas lebhaften Funken und ein stärkeres Geräusch wahrnahm, sprach er alsbald die Idee aus, dass dieser Funke und dieses Knacken den Blitz und den Donner darzustellen schienen. Den Beweis für die Richtigkeit dieser Analogie hat aber erst Franklin geliefert, welcher vorher schon mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leydener Flasche und das Vermögen der Spitzen, gemacht hatte. Er kam auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloss nämlich, dass Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken aufsaugen müssten. Da sich in Philadelphia damals kein für seine Zwecke passender Thurm befand, so machte Franklin seine ersten Versuche mit einem Drachen, den er steigen liess, als sich Wolken am Himmel zeigten, von denen sich elektrische Effecte hoffen liessen. Anfangs zogen mehrere Wolken wirkungslos vorüber, endlich fingen die Fasern der Schnur an, sich aufzustellen, und es liess sich ein Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, dem bald noch mehrere andere folgten.

Franklin hat seinen Versuch im Jahre 1752 angestellt, er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas zu Nerac war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht

anzubringen. Im Jahre 1757 wiederholte de Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Grösse.

Diese Versuche beweisen vollständig, dass der Blitz ein elektrischer Funke ist.

Elektricität während der Gewitter. Wenn man den elektrischen Zustand der Wolken untersucht, welche nach und nach über den Drachen hinziehen, so erkennt man, dass sie bald mit positiver oder negativer Elektricität geladen sind, bald sich aber auch im natürlichen Zustande befinden. Obgleich wir über die Vertheilung der Elektricität in den Wolken nichts wissen, so ist doch wohl die Anziehung und Abstossung der ungleich oder gleich elektrisirten Wolken die Ursache der aussergewöhnlichen Bewegungen, welche man während der Gewitter am Himmel beobachtet. Während dieser allgemeinen Bewegung der Atmosphäre sieht man Blitze den Himmel durchzucken und hört den Donner rollen. Diese beiden Erscheinungen wollen wir nun näher betrachten. 73

Manchmal sieht man den Blitz aus einer Wolke hervorbrechen und den Himmel weithin durchfurchen. Wenn man von hohen Bergen herab diese Erscheinung zu seinen Füssen beobachtet, so kann man ihre Ausdehnung besser schätzen; alle Beobachter stimmen darin überein, dass sie unter solchen Umständen Blitze gesehen haben, welche wenigstens eine Meile lang waren. Man weiss auch, dass aus derselben Wolke nach einander mehrere Blitze hervorsprühen. Endlich ist bekannt, dass die Blitze meistens einen Zickzack bilden; diese Form ist dem Blitze und dem elektrischen Funken gemein.

Um die Länge des Blitzes zu erklären, muss man demnach wohl annehmen, dass auf dem Wege, welchen der Blitz nimmt, die Dampftheilchen schon durch Vertheilung elektrisirt sind, und dass endlich, wenn der Blitz erscheint, sich das gestörte Gleichgewicht von Schicht zu Schicht wieder herstellt, dass gewissermaassen nur Funken von Theilchen zu Theilchen überspringen, dass aber die Elektricität nicht den ganzen Weg zwischen den weit entfernten Wolken durchläuft.

Der Donner entsteht durch die Vibrationen der gewaltsam erschütterten Luft. Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet als das Licht, da er in einer Secunde nur $\frac{1}{3}$ km zurücklegt, so sieht man den Blitz eher als man den Donner hört. Nehmen wir an, ein Beobachter befinde sich nahe am Ausgangspunkte der Bahn eines Blitzstrahls von 3 km Länge, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzstrahls um 9 Secunden später ankommen, als von dem zunächst gelegenen Ende. Der Beobachter wird daher nicht einen einzigen momentanen Knall, sondern je nach Länge des Strahles und seiner Stellung zur Bahn des Blitzes ein mehr oder weniger lang andauerndes Rollen des Donners wahrnehmen, welches auch noch durch das Echo zwischen Erdoberfläche und Wolken

insbesondere auch an Gebirgswänden verstärkt, verlängert und sonst modificirt wird. Die Entfernung eines Gewitters oder genauer die der nächstgelegenen Stelle einer Blitzbahn wird in Kilometern erhalten, wenn man die Zeit zwischen Blitz und Beginn des Donners in Secunden durch 3 dividirt. In Wegminuten erhält man den Abstand des Blitzes, indem man die Anzahl der Secunden mit 5 multiplicirt. Die grösste beobachtete Länge von Blitzstrahlen wird auf 8000 m, die durchschnittliche auf 1000 m angegeben. Die Höhe der Gewitterwolken über der Erdoberfläche schwankt zwischen 200 und 5000 m.

Ueber den Ursprung der Gewitterwolken haben wir noch keine genaue Kenntniss. Sicher scheint nur, dass massenhafte Condensation von Wasserdampf dabei vorausgeht, welche selbst wieder durch Zusammentreffen von warmen, dampfreichen Luftschichten mit kalten Luftmassen veranlasst wird.

74 **Wirkungen des Blitzes auf der Erde.** Wenn eine elektrische Wolke über dem Erdboden schwebt, so wird sie vertheilend auf denselben wirken; die der Wolke gleichnamige Elektricität wird abgestossen, die ungleichnamige aber wird angezogen und vorzugsweise in allen Leitern und Halbleitern angehäuft werden, die sich mehr oder weniger über die Erde erheben.

Eine allmälige Entladung der elektrischen Wolke oder ein Weiterziehen derselben hat zur Folge, dass auch die durch Vertheilung angehäuft gewesene Elektricität sich allmälig verliert, während eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag erfolgt, wenn die elektrische Wolke plötzlich, etwa durch Ueberschlagen eines Blitzes, auf eine andere Wolke entladen wird.

Wenn aber die elektrische Wolke nahe und die durch sie bewirkte elektrische Ladung irgend eines unter ihr auf der Erdoberfläche befindlichen Gegenstandes stark genug geworden ist, so schlägt der Blitz direct zwischen ihnen über. Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, dass so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch die Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität statt, und deshalb sagt man mit Recht, dass Bäume den Blitz anziehen; man darf deshalb während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen. Die Anzahl der vom Blitz getroffenen Menschen ist ziemlich gross. In Frankreich allein wurden von 1835 bis 1863 6714 Menschen vom Blitz getroffen, wovon 2238 getödtet wurden. Ein sehr grosser Theil derselben hatte dieses Loos dem Verweilen unter Bäumen

zuzuschreiben. In Preussen wurden von 1869 bis 1872 369 Menschen erschlagen. In Schleswig-Holstein allein betrug 1873 der durch 97 Blitzschläge verursachte Brandschaden nahe an 300 000 Mark, was nahe 26 Proc. aller Brandschäden zusammen betrug. In Sachsen war die Anzahl der Schaden bringenden Blitzschläge in den 30 Jahren von 1841 bis 1870 gleich 2135. Merkwürdiger Weise ist die Anzahl der Blitzschläge, wie v. Bezold nachgewiesen hat, seit Ende der Dreissigerjahre in auffallender Zunahme begriffen. In Sachsen beträgt diese Zunahme seit den letzten 12 Jahren 100 Proc., während die Häuser nur um 3 Proc. sich vermehrt haben.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt sein; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Möbel umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden aus der Wand gerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fusse des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches die Elektricität sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung statt; bei Bäumen findet man jedoch seltener Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung an den Felsen hervor.

Der Blitzableiter ist eine segensreiche Erfindung Franklin's. 75
Die erste Ausführung seines Vorschlages, die Elektricität der Wolken durch aufgerichtete Metallspitzen auf die Erde zu entladen, erfolgte durch die Franzosen Delibard und Delor in Paris 1752. Der erste eigentliche Blitzableiter in Europa wurde von dem Oesterreicher Procop Divisch, Pfarrer zu Prenditz bei Znaym in Mähren, 1754 errichtet, nachdem schon im Jahre vorher Winkler unabhängig von Franklin die Anlegung der Blitzableiter empfohlen und Vorschriften dazu gegeben hatte.

Die Blitzableiter bestehen aus einer zugespitzten Metallstange, welche in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen.

1. Die Spitze muss alles überragen und sehr fein sein, ferner aus einem Metall bestehen, das der Oxydation widersteht und, bei gutem Leitungsvermögen, einen hohen Schmelzpunkt hat.

2. Die Zahl und Höhe der Auffangestangen muss im Verhältniss zur Grösse und Construction des zu schützenden Objectes stehen.

3. Die Ableitung zur Erde muss überall den zur Leitungsfähigkeit des verwendeten Metalles erforderlichen Durchmesser haben, ohne dabei zu schwer zu sein, und muss für die Dauer der Zerstörung durch Luft und elektrische Einflüsse Widerstand leisten, ferner möglichst aus einem Stück bestehen und sich leicht und geschmeidig mit Vermeidung aller scharfen Ecken anbringen lassen.

4. An allen Stellen, wo die verschiedenen Theile der Leitung verbunden sind, muss die möglichst breite Berührungsfläche für die Dauer solid und rein metallisch sein.

5. Alle grösseren Metallmassen in der Nähe müssen mit dem Ableiter durch Nebenleitungen verbunden werden und darf mithin eine Isolirung nicht stattfinden.

6. Das untere Ende der Ableitung, Erdleitung genannt, muss als genügend grosse Metallplatte in eine weit verbreitete und immer feuchte Erdschicht oder in Wasser münden.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt; diejenige Elektricität wird abgestossen, welche mit der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten; die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann. Auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich.

Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren; denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, 1. und 6. der genannten Bedingungen sei nicht erfüllt, die Spitze sei stumpf, die Leitung zum Boden unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, dass eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft sein kann; man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nun die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz leichter einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne dem Gebäude zu schaden.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten, und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden wäre.

Noch mehr: Ein Blitzableiter, welcher diesen Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funke seitwärts überschlagen, welcher irgend Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann.

Professor Richmann in St. Petersburg wurde 1753 durch einen Funken aus einem Blitzableiter, dessen Ableitung er zur Anstellung von Experimenten unterbrochen hatte, getödtet.

Fig. 205.

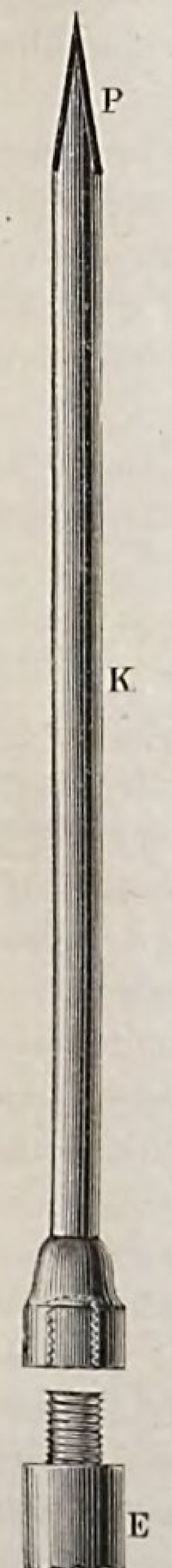


Fig. 206.

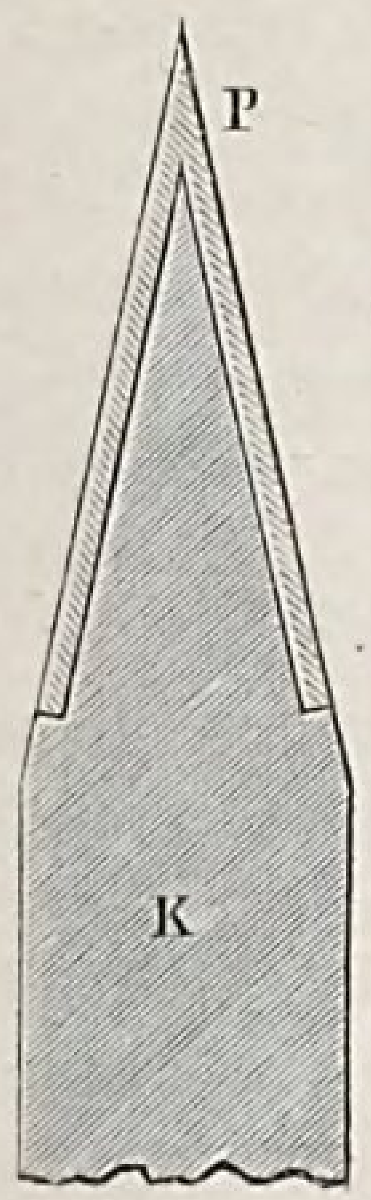


Fig. 207.

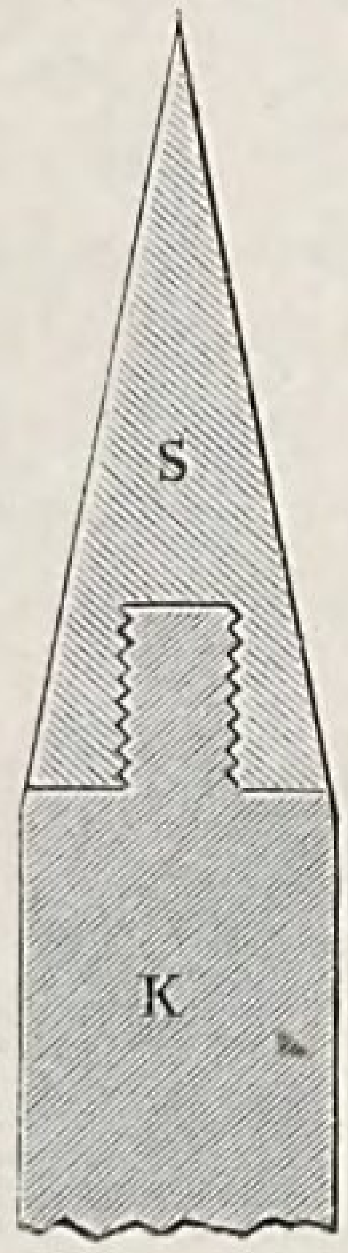


Fig. 205 stellt die Spitze eines Blitzableiters dar, wie sie von Gebr. Mittelstrass, Magdeburg, angewendet wird und die sich durch Solidität und Billigkeit auszeichnet. Auf meist 4 m hohen eisernen Stangen von $2\frac{1}{2}$ bis 3 cm Durchmesser ist ein Gewinde E geschnitten, worauf eine 40 cm lange, circa 15 mm dicke Kupferstange K aufgeschraubt wird. Die letztere endet in eine spitze Platinhülse P, die mit reinem Silber aufgelöthet ist; siehe Fig. 206 in natürlicher Grösse. Eben so gut eignet sich auch eine massive aus reinem Silber gefertigte Spitze Fig. 207.

Bei kleineren Blitzableitern kann die Spitze ebensowohl aus Kupfer, das im Feuer vergoldet wird, bestehen. Die Vergoldung leitet zwar die Elektricität nicht besser, doch schützt sie die Spitze vor Oxydation. Obwohl reines Silber von allen Metallen der beste elektrische Leiter ist, so wird doch deshalb meistens Platin vorgezogen, weil es sich gar nicht oxydirt und einen hohen Schmelzpunkt hat.

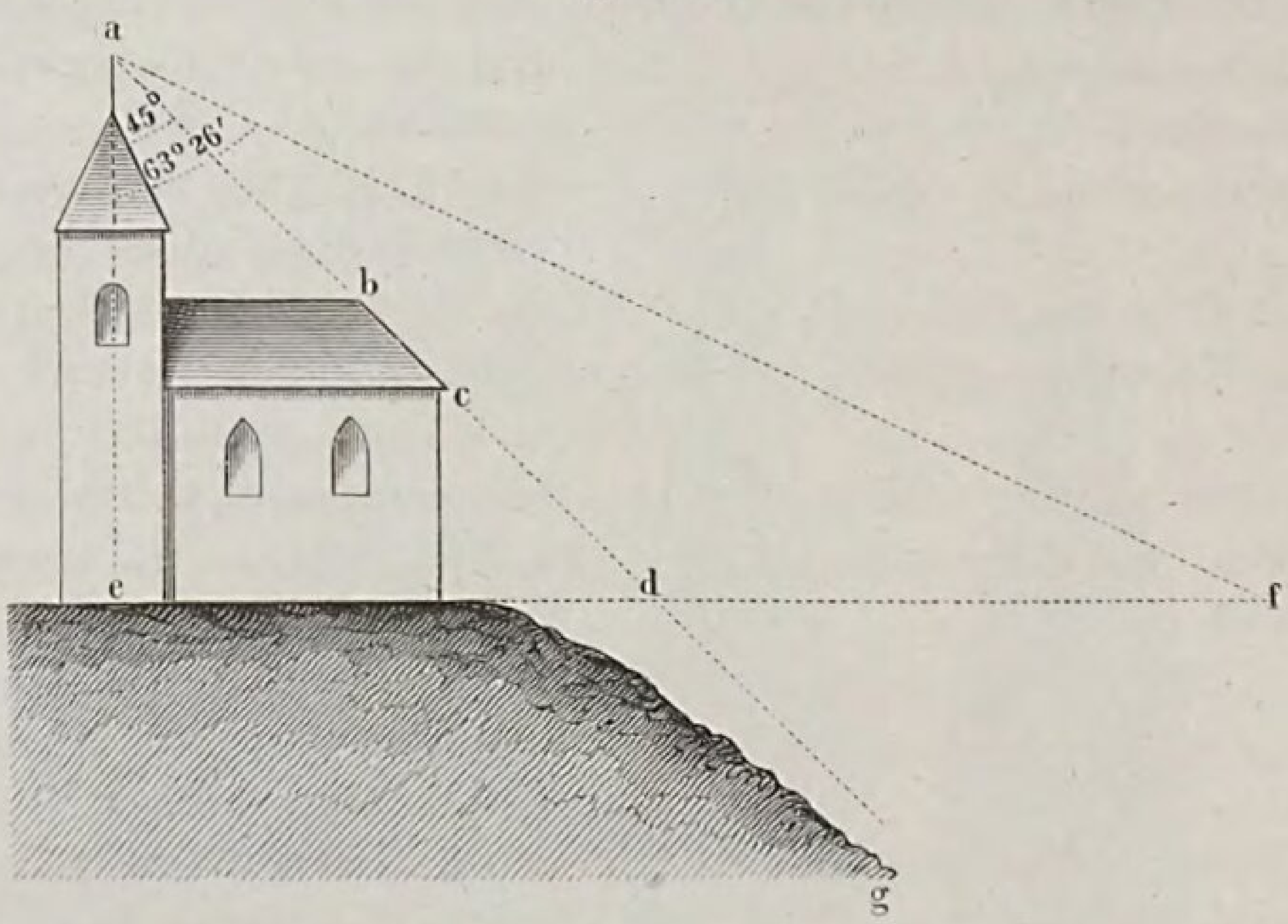
Die frühere Vorschrift von Gay-Lussac, sehr dünne Platinspitzen anzuwenden, hat sich nicht bewährt, da bei Blitzschlägen dieselben schmelzen.

Messing darf zu keinem Theile des Blitzableiters benutzt werden, da dieses Metall in Folge von atmosphärischen und elektrischen Einflüssen so spröde wird, dass es ganz zerbröckelt.

Was den „Schutzkreis“ des Blitzableiters, das ist der Umfang des

Raumes, innerhalb welchem die Objecte vor Blitzschäden gesichert sind, betrifft, so lässt sich aus zwei Gründen keine allgemein giltige Regel wissenschaftlich begründen. Der erste Grund besteht darin, dass man nicht allgemein angeben kann, unter welchem Winkel mit dem Horizonte noch Blitzschläge erfolgen können. Betrachten wir als Beispiel das in Fig. 208 angedeutete Object. Würden alle Blitze nur senkrecht niedergehen, so wäre die Thurmspitze *a* das der Gewitterwolke nächststehende Object und es würde in normalen Fällen genügen, in *a* einen Blitzableiter anzubringen, um damit zugleich auch die Dachkante *b c*, also

Fig. 208.



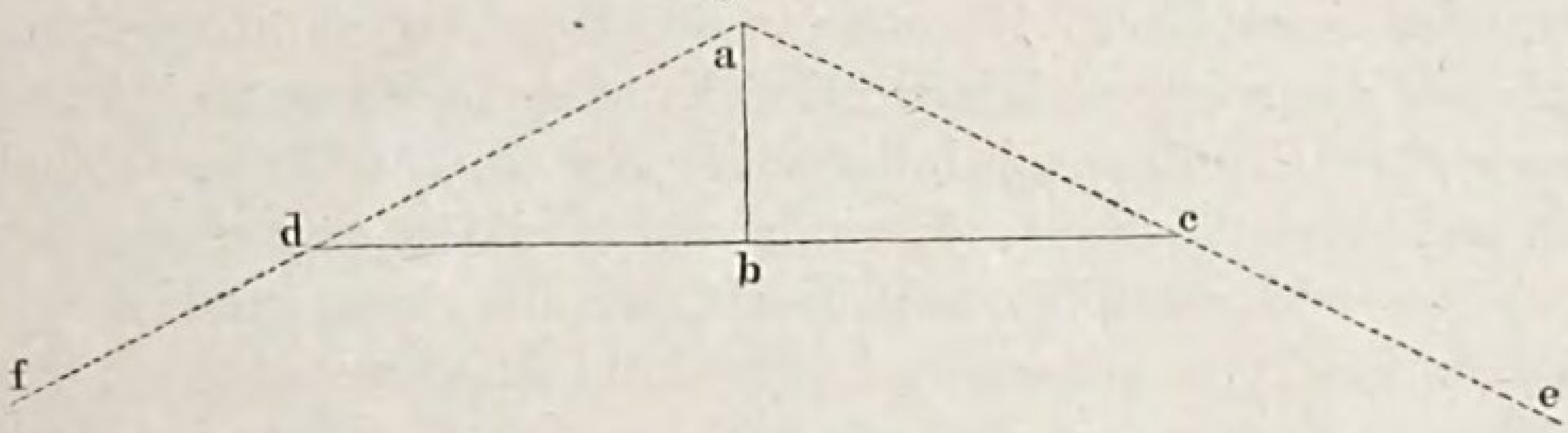
überhaupt das ganze Object geschützt zu haben. Nehmen wir aber an, die Gewitterwolke sei ebenso weit in horizontaler Richtung entfernt, als sie hoch über *a* schwebt, so würde ein aus ihr ausgehender den Punkt *a* treffender Blitzstrahl mit dem Horizonte einen Winkel von 45° einschliessen, und es würde daher eine durch die Linie *a d* senkrecht auf die Zeichnung gelegte Ebene alle jene Punkte verbinden, welche von der verhältnissmässig weit entfernten Gewitterwolke gleichen Abstand haben. In diesem Falle würden die Punkte *b* bis *c* nicht hinreichend geschützt und ein Blitzableiter in *b* oder *c* erforderlich sein. Stände das Gebäude auf einer horizontalen Ebene *ef*, so wäre anzunehmen, dass eher ein Punkt der Erdoberfläche zwischen *d* und *f* getroffen würde, als die Punkte *a*, *b* oder *c*. Stände aber z. B. das Gebäude an einem Abhange, deren Punkte, z. B. *g*, sämmtlich weiter von der Gewitterwolke entfernt sind, so wäre offenbar ein Blitzableiter in *a* allein durchaus unzureichend. In der Praxis wird nun angenommen, dass die Gewitterwolke, aus der ein Blitzschlag zu befürchten wäre, mindestens eine noch einmal so grosse Höhe als horizontale Entfernung besitze, dass mithin der Winkel, den der Blitzstrahl mit dem Horizonte bildet, mindestens 63° 26′ betrage. In diesem Falle würde in der obigen Figur die Linie *af* die gleich stark

gefährdeten Punkte andeuten und man ersieht dann sofort, dass ein in a angebrachter Blitzableiter das ganze Object schützt, falls nicht in Folge besonderer, unten zu besprechender Ursachen die Punkte b bis c stärker bedroht sind. Denkt man sich also die Spitze eines Blitzableiters als Spitze eines Kegels, dessen Seite mit der Axe einen Winkel von $63^0\ 26'$ einschliesst, oder, was dasselbe sagt, dessen Basishalbmesser das Doppelte der Höhe ist, so betrachtet man alle Objecte als geschützt, welche innerhalb der Metallfläche des Kegels fallen.

Der zweite Grund, der unter Umständen die oben angegebenen Regeln ungenügend erscheinen lässt, beruht auf dem Einfluss der ungleichen Leitungsfähigkeit der Objecte. Wäre beispielsweise in Fig. 208 der Thurm aus schlecht leitendem Mauerwerk bestehend, dagegen das Innere des angebauten Hauses durch eiserne Gas- oder Wasserleitungen mit der Erde in gut leitender Verbindung, so wäre die Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass der Blitz die der Wolke näher stehende Thurmspitze verschonend in das Haus einschlägt. Es muss also stets auf alle bestehenden Umstände Bedacht genommen, und eher ein Uebriges gethan werden, um volle Sicherheit zu erlangen.

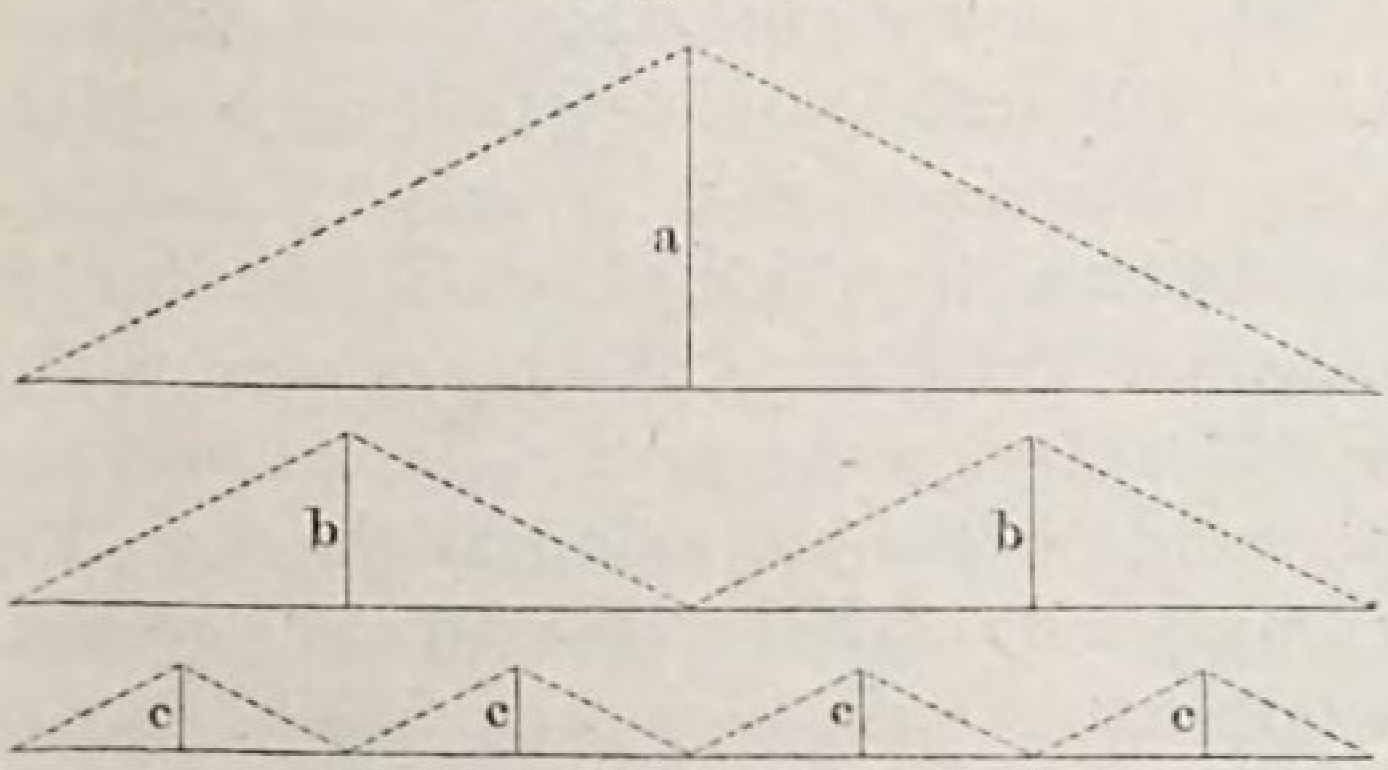
Ist ab, Fig. 209, die auf dc senkrechte Auffangestange, und beträgt ihre Höhe z. B. 4 m, so schützt sie nach obiger Annahme nicht allein

Fig. 209.



den Kreis mit dem Durchmesser $dc = 16$ m, sondern der Schutz reicht noch längs df und ce und darüber hinaus um eine Strecke, welche zu 20 bis 25 m angenommen wird, vorausgesetzt, dass nicht besondere Umstände, wie oben gezeigt, eine Ausnahme verlangen.

Fig. 210.



Wenn nun eine 8 m hohe Auffangestange a, Fig. 210, eine 32 m lange Dachfirste schützt, so würden zwei Stangen bb von je 4 m Höhe dieselbe Länge decken, desgleichen vier Stangen $cccc$ von je 2 m Höhe. Da nun aber nach der vorher besprochenen Theorie eine grössere Anzahl von Spitzen mehr Elektricität ausströmen lassen, als eine einzelne, so ist es rathsam, zum kräftigeren Schutz lieber mehr Auffangestangen,

wenn auch weniger hoch, zu wählen, zumal zwei mittelhohe Stangen billiger sind, als eine grosse von doppelter Höhe.

Die von den Auffangestangen zur Erde führende Leitung besteht am besten aus Kupfer oder Eisen. Die Anwendung von Drahtseil ist massiver Leitung vorzuziehen, weil nicht nur dünnere Drähte stets aus reinerem Metall gemacht werden, sondern weil bei Seil auch nicht so leicht schlechte Stellen hindernd wirken können, indem die anderen Drähte immer wieder ausgleichen.

Ferner kann die ganze Leitung aus einem Stück gemacht werden und bei Vermeidung aller scharfen Ecken lässt sich das Seil leicht und geschmeidig anbringen, ohne dass dadurch das Ansehen des Gebäudes geschädigt wird. Das Drahtseil soll jedoch nicht aus allzu dünnen Drähten zusammengesetzt sein, da dieselben der Verwitterung zu sehr ausgesetzt wären. Die Erfahrung lehrte, dass 2 bis $2\frac{1}{2}$ mm starke Drähte sich gut bewährten.

Kupfer leitet die Elektricität sechsmal besser als Eisen; eine Blitzableitung aus Eisenseil muss daher bedeutend stärker sein, als eine aus Kupferseil, wenn sie gleiche Sicherheit bieten soll. Man nimmt für Eisenseil ca. 16 bis 18 mm Durchmesser an, während Kupferseil von 8 bis 10 mm Durchmesser bereits genügend leitungsfähig ist. Ausserdem muss Eisenseil zum Schutz gegen Rost verzinkt sein, Kupferseil bedarf keines schützenden Anstriches. Wenn zwar nun Kupfer unverarbeitet bedeutend theurer als Eisen ist, so kommt eine Kupferseilleitung wegen ihrer weit geringeren Stärke dennoch billiger als eine Eisenseilleitung und bietet zudem noch den Vortheil, dass sie wegen ihres geringeren Gewichtes viel leichter und gefälliger angebracht werden kann und durch atmosphärische Einflüsse am wenigsten beeinträchtigt wird.

Massive Leitungen sind abgesehen der Vorzüge des Seiles hinsichtlich ihrer Leitungsfähigkeit ebensogut, da Metall den elektrischen Strom nicht, wie manchmal irrthümlich angenommen wird, auf der Oberfläche, sondern im Querschnitt leitet.

Kettenförmige Blitzableitungen, sowie solche aus Blechstreifen sind entschieden zu verwerfen, da sie, wie viele Beispiele gezeigt haben, durch die scharfen Kanten Theile des Blitzes abgleiten lassen.

Die gute Wirkung eines Blitzableiters hängt auch sehr von den soliden Verbindungen der einzelnen Theile ab, dieselben müssen mittelst 8 cm langer starker Kupferbänder fest zusammengeschraubt und verlöthet sein. Mit der Hauptleitung, welche auf möglichst kurzem Wege von der Spitze zur Erde führt, müssen durch Nebenleitungen alle grösseren in der Nähe befindlichen Metallmassen verbunden sein, damit alle Elektricität zum Ableiter strömen kann und somit jede Spannung aufgehoben wird. Wäre dies nicht der Fall, oder wollte man gar die Leitung durch Porcellanhülsen isoliren, so würden sich beim Gewitter in den anderen Metalltheilen Influenzströme bilden, die fast ebenso gefährlich wie ein kleiner Blitzschlag werden können. Besondere Aufmerksamkeit ist noch

der Erdableitung zu widmen. Auf je zwei bis drei Auffangespitzen rechnet man eine Erdleitungsplatte von Kupfer, Eisen (oder Zink) von $\frac{1}{2}$ bis 1 qm Fläche, die in einer weit verbreiteten immer feuchten Erdschicht einige Meter tief eingegraben liegen muss, wenn möglich im Grundwasser. Befindet sich in der Nähe des Blitzableiters ein Ziehbrunnen, Fluss oder See, so versenkt man hier hinein die Erdleitungsplatte; nie jedoch in ein wasserdicht ausgemauertes Wasserreservoir, Cysterne oder gemauerten Canal. Sollte in der Nähe des Blitzableiters die Erde selbst in grösserer Tiefe kein Grundwasser enthalten, so führt man die Ableitung zur feuchtesten Stelle des Bodens und lässt sie in eine noch grössere Metallplatte, wie vorhin angegeben, enden. Ausserdem ist es räthlich, noch einige Quererdleitungen anzubringen. Die früher empfohlene Umgebung der Erdplatte mit Kohle wird neuestens wiederum missrathen. Durch galvanische Einwirkung der Kohle auf die Metallplatte entsteht nämlich ein Strom, der die Oxydation und Zerstörung der Metallplatte befördert. Dasselbe ist der Fall, wenn die Platte unterhalb des feuchten Erdreichs mit einer Drahtleitung aus einem andern Metall verbunden ist. Aus diesem Grunde ist es am rathsamsten, die Platte aus Kupfer oder Eisen zu wählen, je nachdem der Ableitungsdraht aus Kupfer oder Eisen ist. Aus demselben Grunde müssen Erdplatten aus Zink an Kupferseil angelöthet werden.

In der Nähe des Hauses befindliche oder ins Haus hineinführende Gas- oder Wasserleitungsröhren müssen unbedingt mit der Ableitung in leitende Verbindung gesetzt werden. Dagegen darf man dieselben nicht als Ersatz für die Erdplatte betrachten, da die einzelnen Stücke solcher Röhrenleitungen oft durch isolirende Medien unterbrochen sind. In dieser Hinsicht war ein Blitzschlag zu Basel am 9. Juni 1849 sehr lehrreich. Derselbe entlud sich in den Blitzableiter eines Wohnhauses, verfolgte die Leitung desselben bis in den Boden, sprang aber alsdann auf eine nahe liegende gusseiserne Brunnenleitung über; auf mehr als $\frac{1}{4}$ Stunde Wegs wurden alle gusseisernen Röhrenstücke da, wo sie in einander gesteckt und mit Pech gedichtet waren, zerschmettert, so dass alle durch diese Leitung gespeisten Brunnen zu laufen aufhörten. Einen ähnlichen Fall hat A. Secchi aus Alatri 1872 mitgetheilt.

Die Elektricität, welche in reichlichem Maasse durch die Spitze ausströmt, wird durch die Gewitterwolke angezogen, und neutralisirt hierdurch einen Theil der ursprünglichen Elektricität dieser Wolke. Wenn also eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug ist, um vertheilend wirken zu können, so wird auch sogleich ihre elektrische Kraft durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität aus der Spitze geschwächt. Je mehr sich die Wolke nähert, desto stärker wirkt ihre vertheilende Kraft, desto mehr wird sie aber auch durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität neutralisirt.

Ein richtig construirter Blitzableiter wird also das Gewitter nicht anziehen, sondern sogar das Einschlagen des Blitzes verhindern. Da es

aber vorkommen kann, dass die elektrische Spannung plötzlich so gross wird, dass eine gewaltsame Entladung nach dem Ableiter stattfindet, so muss derselbe derartig hergestellt sein, dass er ohne Schaden für das Haus und seine Bewohner den Blitz zur Erde ableiten kann.

Da es also von der grössten Wichtigkeit ist, dass die metallische Leitung von der Spitze des Ableiters bis zum Boden ununterbrochen sei, so ist es wünschenswerth, sich davon überzeugen zu können, dass diese Bedingung erfüllt sei. In neuerer Zeit hat man dazu den galvanischen Strom angewandt. Führt man nämlich von dem einen Pole einer galvanischen Kette einen Kupferdraht zum oberen, vom andern Pole einen solchen zum unteren Ende des Blitzableiters, so ist derselbe in den Schliessungsbogen der Kette eingeschaltet. Ein an passender Stelle in diesen Schliessungsbogen eingeschaltetes Galvanometer muss unter diesen Umständen den Strom anzeigen, wenn die Leitung nicht unterbrochen ist.

Will man untersuchen, ob die Erdleitungsplatte mit dem feuchten Boden in genügender Verbindung ist, so wird von einem Pole des Elementes ein Kupferdraht an der Blitzableitung oberhalb der Erde befestigt, vom andern Pole führt man einen Kupferdraht, woran eine circa $\frac{1}{2}$ Quadratmeter grosse Metallplatte befestigt ist, nach einem in der Nähe des Blitzableiters befindlichen Brunnen und senkt die Platte in das Wasser. — Ist kein Brunnen in der Nähe, so wird die Platte in die feuchte Erdschicht eingegraben.

Das zwischen der Erdleitung des Blitzableiters und der andern zur Untersuchung eingegrabenen Metallplatte liegende feuchte Erdreich bildet den Schliessungsbogen der galvanischen Kette und muss das eingeschaltete Galvanometer ebenfalls den Strom nachweisen. Aus dem Entstehen eines Ausschlages der Magnetnadel am Galvanoskop kann man jedoch noch keineswegs auf die vollkommene Leitungsfähigkeit und Sicherheit des Blitzableiters schliessen, denn wenn z. B. das Metallseil an verschiedenen Stellen bis auf einen Draht zerschnitten wäre, würde dennoch ein Ausschlag erfolgen. Es ist deshalb immer nöthig, den Blitzableiter noch einer genauen Besichtigung zu unterziehen.

Einen vorzüglich zur Untersuchung von Blitzableitern auf ihre Leitungsfähigkeit geeigneten Apparat haben die Gebr. Mittelstrass in Magdeburg construirt; Fig. 211 zeigt dessen äussere Ansicht, Fig. 212 stellt denselben im Durchschnitt dar. Auf dem Deckel eines leicht transportablen Holzkastens befindet sich eine mit isolirtem Kupferdraht umwundene und mit Arretirung versehene Bussole; der Kasten selbst enthält ein Zinkkohlenelement ohne Thonzelle mit Füllung von einem Theil doppeltchromsaurem Kali, einem Theil Schwefelsäure und 20 Theilen Wasser oder auch nur eine einfache Salzwasserfüllung.

Nach jedem Gebrauche wird Kohle und Zink in das daneben befindliche leere Glas gesteckt und das mit Flüssigkeit gefüllte Glas mit dem Glasstöpsel verschlossen. Ausserdem befinden sich noch im Apparat

Klemmschrauben und eine Rolle mit isolirtem Kupferdraht. Die beiden Klemmschrauben, um das Galvanoskop einzuschalten, sind aussen am Apparat an der Seite befestigt.

Auch werden diese Galvanoskope mit einem Zeiger versehen, der je nachdem er gestellt wird, eine Widerstandsrolle von 1 bis 20 Siemens'-

Fig. 211.

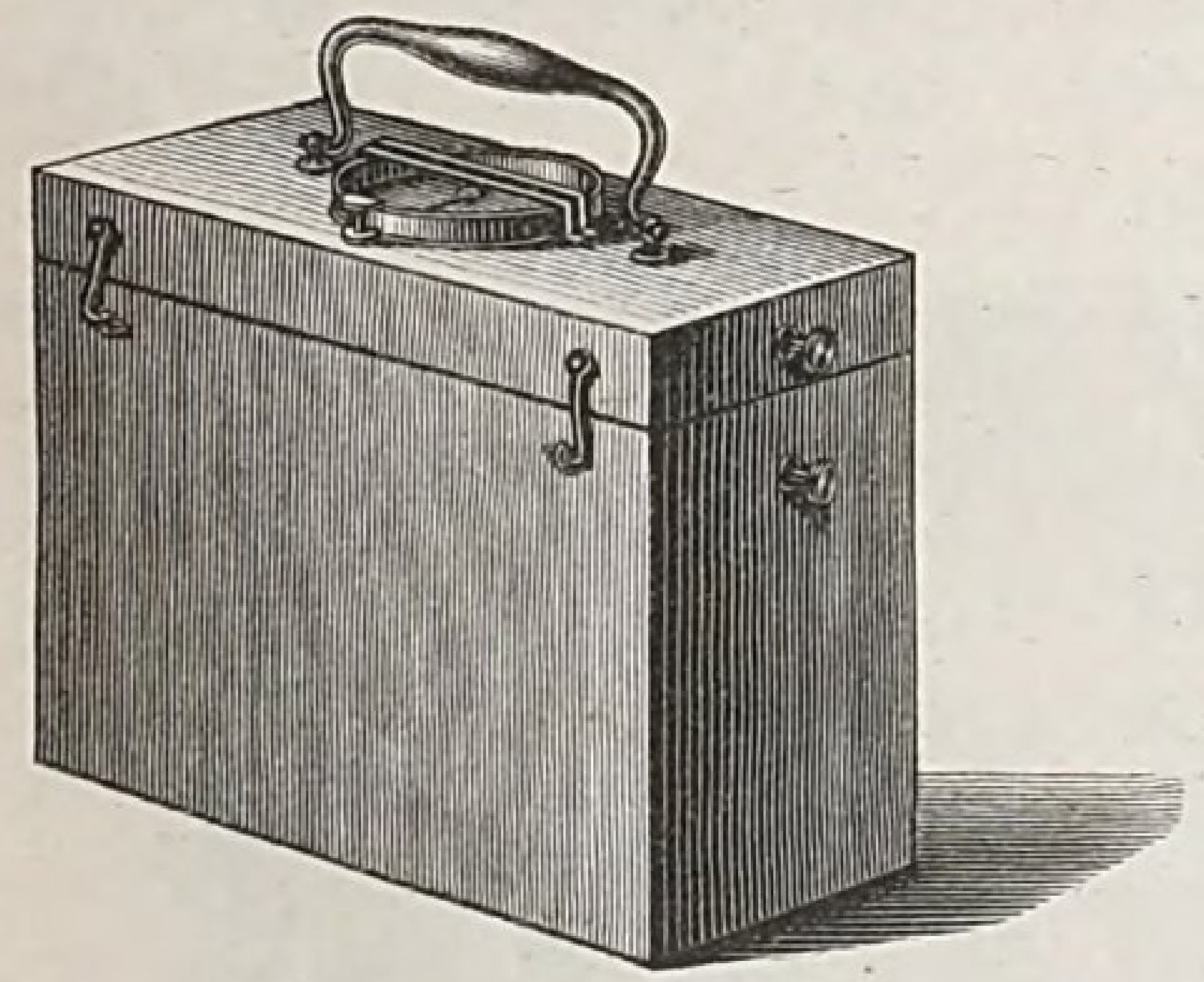
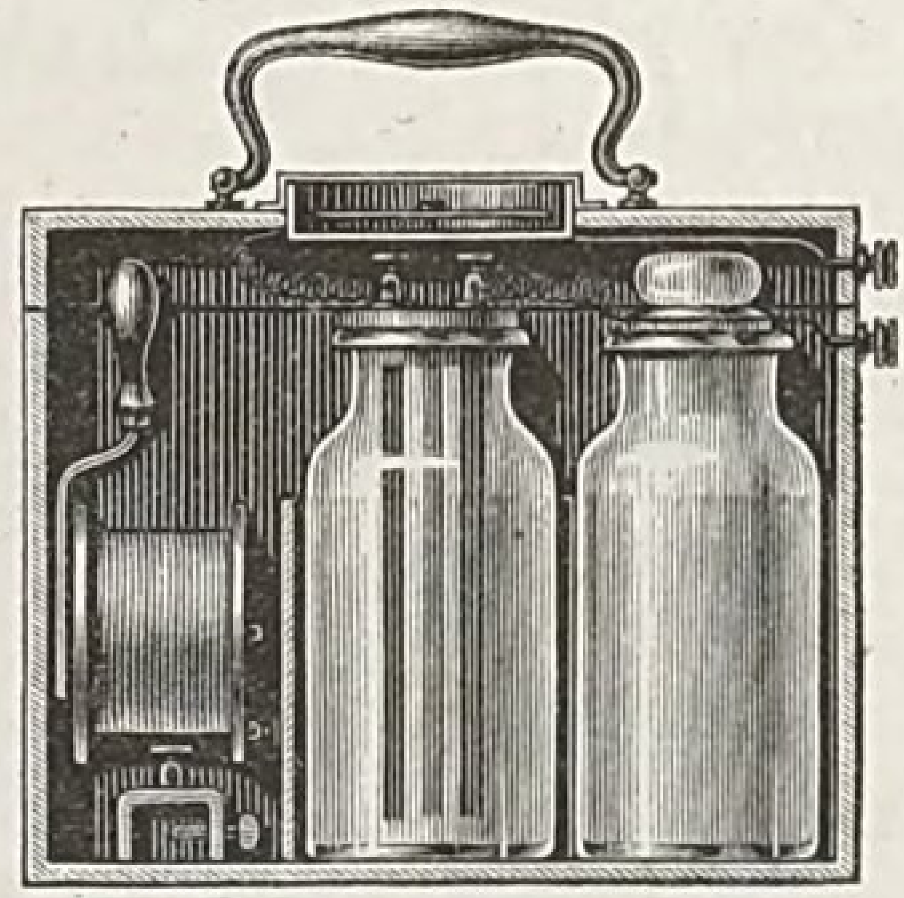


Fig. 212.



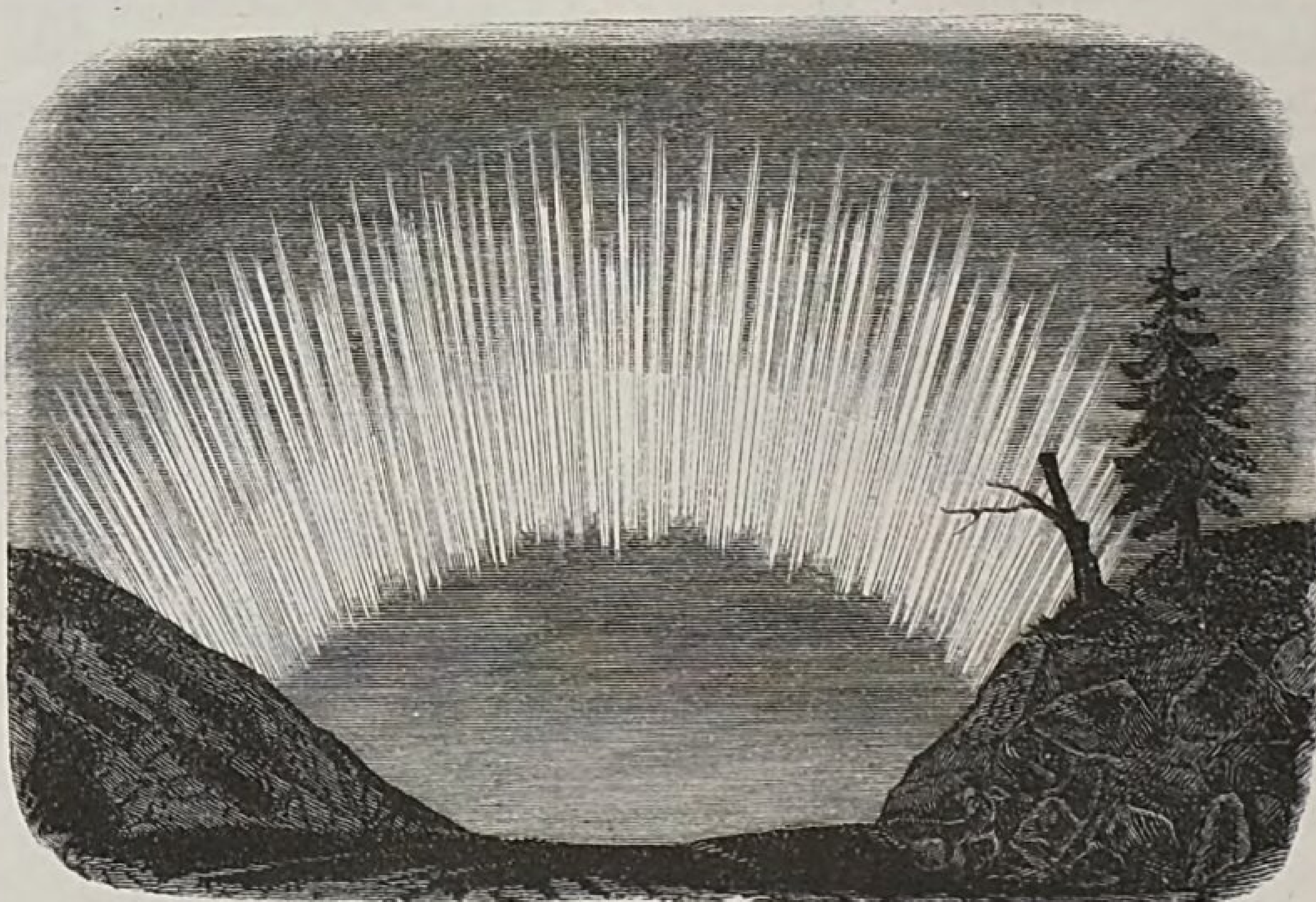
schen Einheiten zum Vergleich in den Strom einschaltet. Die Handhabung dieses Apparates kann erst später besprochen werden.

Das Polarlicht. Wenn wir diese prächtige Naturerscheinung an 76
dieser Stelle kurz besprechen, so geschieht es, weil wir die Theorie von De la Rive, nach welcher das Polarlicht oder Nordlicht eine Erscheinung der atmosphärischen Elektricität ist, als die wahrscheinlichste ansehen.

In unseren Gegenden ist das Nordlicht sehr selten, in den nördlichen Theilen von Europa, Asien und Amerika dagegen ist dasselbe eine häufige Erscheinung, welche während des langen Polarwinters das fehlende Tageslicht zum Theil ersetzen muss. Auch auf der südlichen Halbkugel sind von den Seefahrern Polarlichter, dort Südlichter genannt, beobachtet worden und es scheint, dass Nord- und Südlichter häufig gleichzeitig auftreten. Die Erscheinung des Nordlichtes in unseren Breiten ist äusserst wechselvoll und deshalb schwer zu beschreiben. Die letzten ausgezeichneten Nordlichter in Deutschland wurden am 7. Januar 1831, 18. October 1836, 25. October 1870, und am 4. Februar 1872 beobachtet. Eine eingehende Beschreibung derselben sammt Abbildungen findet man in J. Müller's kosmischer Physik, 4 Aufl. S. 820. Wir wollen nur die charakteristischen Merkmale der Erscheinung hervorheben (Fig. 213 a. f. S.). Mit Beginn der Dämmerung zeigt sich der Himmel im Norden eigenthümlich beleuchtet. Ueber einem dunklen bogenförmigen Segment, welches jedoch die helleren Sterne hindurchschimmern lässt, zeigt sich ein weisslicher Bogen. Etwas später erheben sich über diesem Bogen

ausgebreitete Massen, welche das Ansehen von gefiederten Wolken haben, die in prächtigen Farben, bald rosenroth, bald grünlich-gelb leuchten. Diese Massen bilden einen mehr oder weniger vollständigen Bogen, der sich immer höher gegen das Zenith erhebt. Nach einiger Zeit bildet sich auf diesem Hintergrunde ein System von Strahlen aus, welche durch grösseren Glanz und hellere Farben hervortreten. Diese Strahlen convergiren sämmtlich gegen denselben Punkt am Firmamente, gegen welchen die Inclinationsnadel gerichtet ist, oder genauer, gegen einen

Fig. 213.



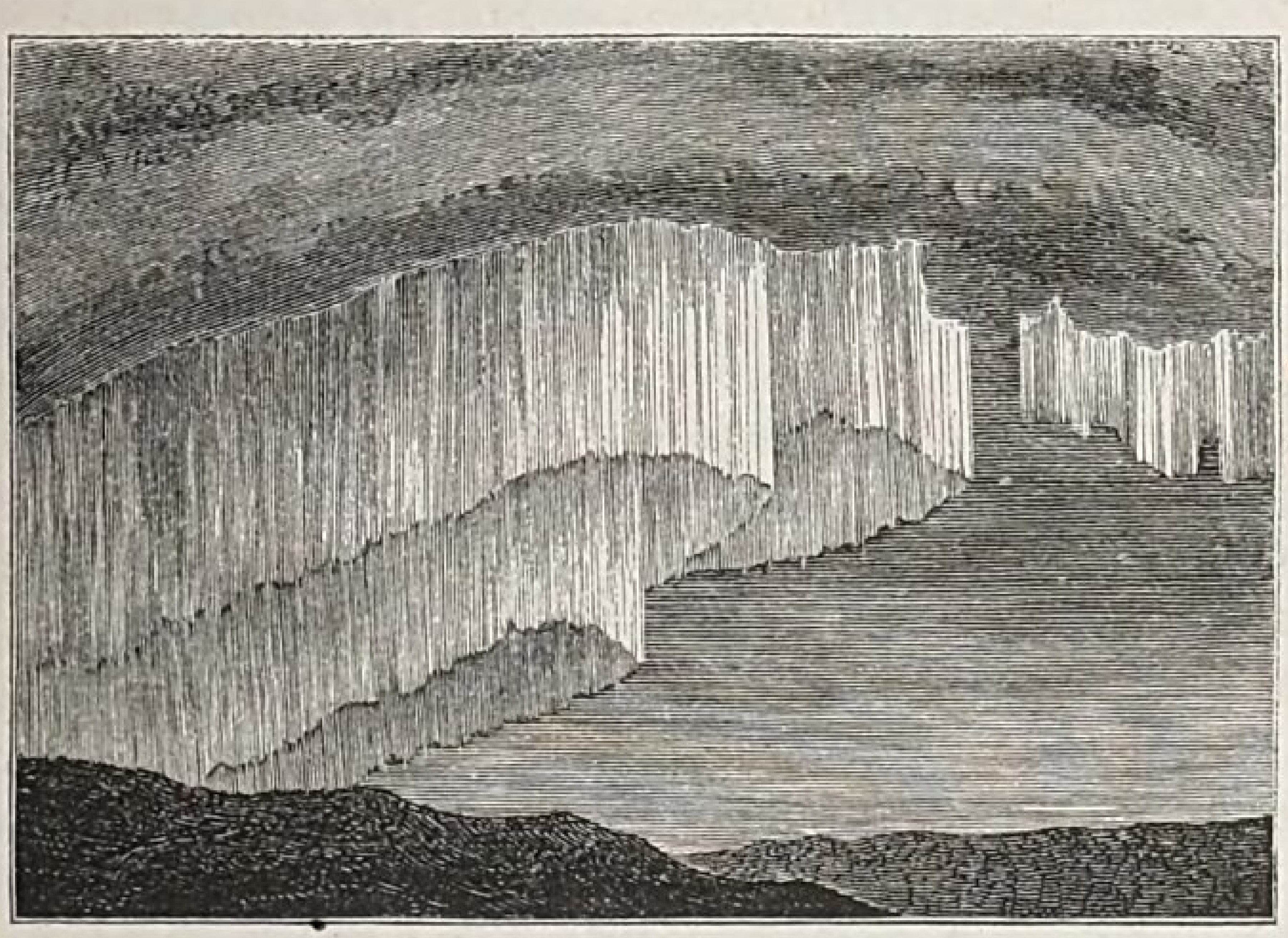
um wenige Grade südlicher gelegenen Punkt. Höchst eigenthümlich ist dabei eine undulatorische Bewegung; der Glanz der Strahlen wächst nämlich der Reihe nach von einem Ende des Bogens zum anderen und zwar meist in der Richtung von West nach Ost. Die Strahlen verlängern und verkürzen sich, verblassen oder verschwinden ganz und kehren wieder. Erreichen sie ihre volle Ausbildung, so entsteht die sogenannte K r o n e. Das ist ein förmlicher Kranz convergirender Strahlen, welcher jedoch sehr veränderlich ist und selten länger andauert. Inzwischen färbt sich manchesmal der übrige Himmel in rothem, grünem und gelbem Lichte, bis endlich die Erscheinung nach mehrmaligem Wiederkommen gegen Mitternacht erblasst und allmälig ganz verschwindet. Während des Nordlichtes behaupten manche Beobachter ein knisterndes Geräusch wahrgenommen zu haben. Die Magnetnadel ist während und vor Eintritt der Erscheinung sehr unruhig und erleidet insbesondere Ablenkungen nach Westen um mehrere Grade, die Telegraphenleitungen zeigen elektrische Ströme wie bei heftigen Gewittern; meistens mit einer Stromrichtung der positiven Elektricität von Nord gegen Süd. Die Höhe des Nordlichtes wurde früher bis über 100 Meilen angenommen. Neuere

Forschungen haben ergeben, dass dasselbe, insbesondere in den Polargegenden, geringere Höhen besitzt und jedenfalls in die Atmosphärenregion hineinreicht. Da ferner das Nordlicht keine scheinbare Bewegung wie die Sterne zeigt, so muss es irdischer Natur sein.

Im hohen Norden wird die Lage der Strahlenbündel eine andere, es erscheint der Lichtbogen oft als ein langes Strahlenband, Fig. 214, welches sich windet und biegt, wie eine Schlange, oder eine vom Winde bewegte Fahne.

Die Theorie des Polarlichtes von De la Rive betrachtet dasselbe als eine elektrische Lichterscheinung im luftverdünnten Raume. Durch die fortwährende Verdunstung des Meerwassers der Aequatorialzone wird der Luft eine bedeutende Menge positiver Elektricität zugeführt, während die Erde negative Elektricität zurückbehält. Die po-

Fig. 214.



sitiv elektrischen Wasserdünste werden durch den Aequatorialstrom in den höheren Luftschichten den Polen zugeführt und daselbst mit der dabei abgeströmten negativen Elektricität zur Neutralisation gebracht. Diese Elektricitätsentladung bringt in den verdünnten Luftschichten ebenso ein Leuchten derselben hervor, wie innerhalb der Geissler'schen Röhren. Für diese Theorie sprechen die Beobachtungen über grosse Höhe der Polarlichter in den Gegenden geringerer Breite, und ihre geringe Höhe in den Polargegenden. Ferner die Berichte über die knisternden Geräusche der niederen Nordlichter, ebenso die Wahrnehmung von starkem Ozongeruch durch den Luftschiffer Paul Rollin, welcher sich im Jahre 1870 in Norwegen in Mitte der leuchtenden Strahlen eines Nordlichtes befand. Ferner stimmen mit De la Rive's Theorie die elektrischen Ströme der von Nord nach Süd laufenden Telegraphenlinien, welche als Nebenleitung für die nach dem Süden strömende positive Elektricität fungiren. Endlich hat De la Rive an einem eigens hierzu

construirten Apparate gezeigt, dass die Form der Lichterscheinung mit seiner Theorie in Uebereinstimmung sei. Die Strahlen verlaufen nämlich parallel mit der Richtung der Inclinationsnadel. In Folge perspectivischer Verschiebung müssen dann die Strahlen scheinbar nach demselben Punkte am südlichen Himmel convergiren, wohin das Südende der Inclinationsnadel zeigt. Soll nun aber das Polarlicht denselben Ursprung haben, wie dasjenige, welches bei elektrischer Entladung im luftverdünnten Raume entsteht, so ist zu erwarten, dass das Spectrum des Polarlichtes mit dem Spectrum des elektrischen Funkens in verdünnter Luft übereinstimmen werde. Diese Uebereinstimmung ist aber nicht vorhanden. Das Spectrum des Nordlichtes enthält eine rothe und eine grüne Linie, ausserdem Spuren eines bandförmigen Streifens im blauen Theile. Zöllner hat nun aber durch eine eingehende Untersuchung wahrscheinlich gemacht, dass, wenn die Lichterscheinungen des Polarlichtes elektrischer Natur sind, sie einer so niedrigen Temperatur angehören müssen, dass es unmöglich ist, bei gleicher Temperatur die Spectra glühender Gase in Geissler'schen Röhren zu beobachten. Das Nordlichtspectrum ist also ein Spectrum der verdünnten Luft von ganz anderer Ordnung, als dasjenige der Geissler'schen Röhren.

Es lässt sich nämlich zeigen, dass die Anzahl der glühenden, leuchtenden Lufttheile in der Geissler'schen Röhre ausserordentlich klein ist gegenüber der Anzahl der hinter einander liegenden leuchtenden Lufttheilchen eines Polarlichtes. Erscheinen trotzdem beide gleich hell, so müssen letztere viel weniger hoch erhitzt sein, denn sonst müsste das Polarlicht ausserordentlich viel heller sein, als es wirklich ist. Bei so verschiedener Temperatur des Licht aussendenden Körpers ist aber nicht allein die Intensität des Lichtes, sondern auch die Wellenlänge, d.i. die Farbe eine verschiedene, wie ja aus anderen Spectralbeobachtungen bekannt ist. Die elektrische Nordlichttheorie ist also trotzdem haltbar und immer noch die wahrscheinlichste. Wir führen daher nur der Vollständigkeit wegen an, dass G. Zehfuss eine ganz abweichende Theorie aufgestellt hat, welche die Polarlichter als Meteorwolken ansieht, welche von der Sonne beleuchtet werden, und wegen der magnetischen Eigenschaften der meteorischen Staubmassen Einwirkung auf die Magnetnadel und strahlenförmige Anordnung zeigen.

Drittes Capitel.

Der galvanische Strom und seine Wirkung auf die durchströmten Körper.

Entdeckung des Galvanismus. Die Geschichte des Galvanismus ist eine Geschichte von Irrthümern. Wenn dies auch im Allgemeinen von jedem Zweige der Wissenschaft gesagt werden kann, so ist es doch bei der Entwickelung unserer Ansichten über die galvanischen Erscheinungen in hervorragendem Grade der Fall. Mehrmals sahen sich die Physiker genöthigt, die vorhandene Theorie durch eine neue, ganz abweichende zu ersetzen, und während wir diese Zeilen niederschreiben, erscheinen neue wichtige Arbeiten, welche die Lehre von der Berührungselektricität neuerdings umgestalten dürften. Bis hierüber eine Klärung stattgefunden hat, bleibt uns nichts übrig, als zunächst den Stoff in der bisher üblichen Weise vorzutragen und an geeigneter Stelle auf die neueren Ansichten hinzuweisen. 77

Bei der Entdeckung des Galvanismus spielten die physiologischen Wirkungen des elektrischen Stromes eine hervorragende Rolle.

Schon am 15. November 1756 veröffentlichte Caldani in Bologna eine Abhandlung über die Einwirkung der Elektricität auf frisch getödtete Frösche, welche hierdurch in Zuckungen geriethen. Im Jahre 1760 berichtete Sulzer in der Berliner Akademie über eine eigenthümliche Geschmackserscheinung, welche man wahrnimmt, wenn man zwei verschiedene sich am Rande berührende Metalle an die Zunge bringt. Diese beiden Beobachtungen blieben lange unbeachtet. Im Jahre 1789 beobachtete die Frau des Professors der Medicin Ludwig Galvani in Bologna neuerdings, dass ein frisch getödteter Frosch in der Nähe einer Elektrisirmaschine in Zuckungen gerieth, so oft aus dem Conductor Funken gezogen wurden. Galvani verfolgte diese Erscheinung weiter. Ohne die richtige Erklärung zu finden, wollte er versuchen, ob der Frosch-

schenkel solche Zuckungen nicht etwa auch unter dem Einfluss der atmosphärischen Elektricität mache und hängte zu diesem Zweck die Schenkel frisch getödteter Frösche mittelst metallener Haken an einem eisernen Balcongeländer auf. In der That beobachtete er an solchen Präparaten Zuckungen, deren nähere Untersuchung eine Reihe der wichtigsten Entdeckungen zur Folge hatte.

Die Froschschenkel, an welchen Galvani seine Beobachtungen machte, waren in der Weise präparirt, wie man in Fig. 215 sieht. Nachdem das eben getödtete Thier durchgeschnitten ist, wird von dem unteren Theile rasch die Haut abgezogen, und indem man die Spitze der Scheere unter die beiden Schenkelnerven bringt, welche auf jeder Seite der Wirbelsäule als weisse Fäden erscheinen, nimmt man mit zwei Schnitten die zwei oder drei untersten Rückenwirbel weg, so dass die Schenkelnerven blossliegen und die unteren Glieder nur durch sie mit den oberen Wirbelknochen zusammenhängen. Galvani hatte einen kupfernen Haken in der Wirbelsäule befestigt und beobachtete jedesmal eine Zuckung der Schenkel, so oft sie mit dem eisernen Geländer in Berührung kamen. Diese Wirkungen nehmen meistens schnell ab, so dass man gewöhnlich 20 bis 30 Minuten nach dem Tode des Thieres nur noch sehr schwache Zuckungen der Muskeln wahrnehmen kann.

Fig. 215.

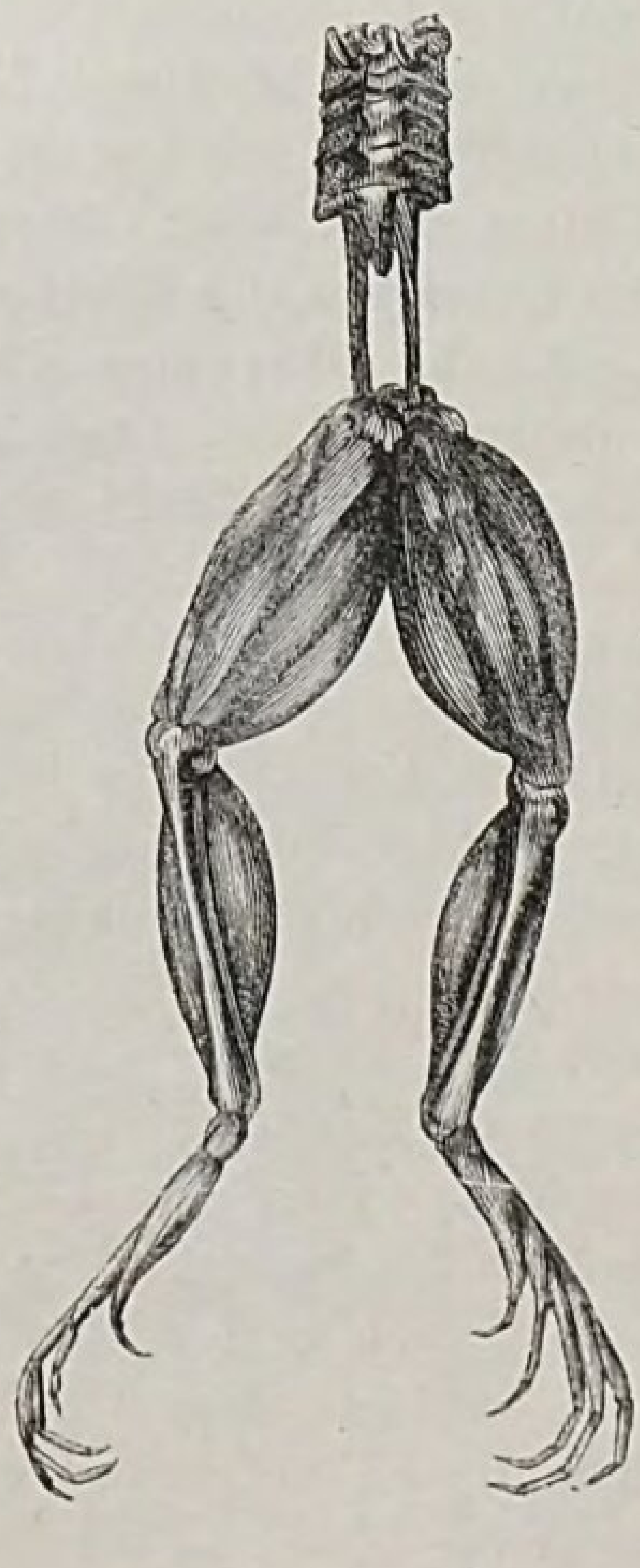
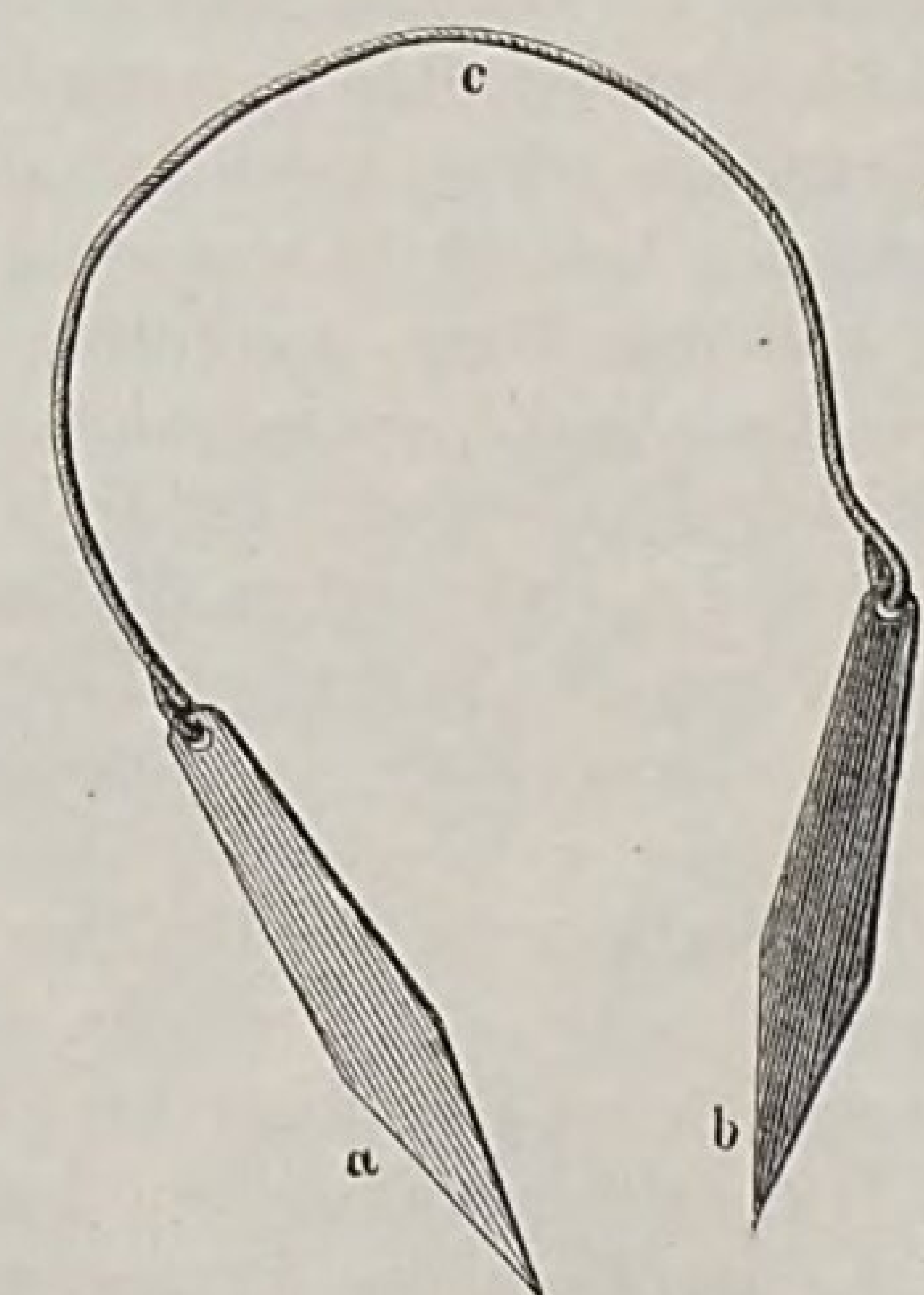


Fig. 216.



Man kann den galvanischen Grundversuch sehr bequem mit Hilfe der Vorrichtung Fig. 216 anstellen. Ein Stück Kupferblech *b* ist durch einen Kupferdraht *c* mit dem Zinkblech *a* verbunden. Um stets metallische Verbindung zu erhalten, kann man den Kupferdraht an die beiden Bleche anlöthen. — Berührt man nun mit einem dieser Bleche die Schenkel, mit dem anderen die Nerven, so tritt alsbald eine Zuckung der Schenkel ein.

Indem Galvani genau diese Umstände angab, unter welchen die Erscheinung erfolgt, hat er sie wohl von den unbestimmten convulsivischen Bewegungen unterschieden, welche man an Insecten, Reptilien und Fischen oft noch lange nach ihrer Verstümmelung beobachtet. Galvani, welcher sehr für die Idee eingenommen war, dass es eine besondere Nerven- oder Lebensflüssigkeit gebe, stand nicht an, von dem Phänomen eine Erklärung zu geben, welche mit seinen Lieblingstheorien übereinstimmte. Die Zuckungen der Froschschenkel, sagte er, werden durch eine Flüssigkeit hervorgebracht, welche vermittelst einer äusseren Leitung von den Nerven zu den Muskeln überströmt; diese Flüssigkeit befindet sich in den Nerven, sie geht von diesen durch den metallischen Leitungsbogen auf die Muskeln über. Diese neue Flüssigkeit wurde die galvanische Flüssigkeit genannt, und man dachte sich die organischen Körper in Beziehung auf die Flüssigkeit ungefähr wie eine Leydener Flasche, deren Belegung einerseits die Nerven, andererseits die Muskeln sind.

Der Lärm dieser Entdeckung verbreitete sich bald über Deutschland, Frankreich und England; überall beeilte man sich, die Versuche zu wiederholen und abzuändern; das Phänomen selbst erregte grosses Erstaunen, aber die Hoffnung, in den organischen Körpern eine feine Flüssigkeit, ein Lebensprincip, aufzufinden, steigerte die Neugierde der Gelehrten noch mehr. Ausserdem erschienen diese Ideen gerade in einer Zeit grosser Entdeckungen und Reformen, alle Geister waren in Bewegung und schienen durch den Reiz der Neuheit hingerissen.

Die ganze Richtung, in welcher man anfänglich die neue Entdeckung zu verfolgen suchte, drohte aber auf Irrwege zu führen, aus denen man vielleicht noch lange keinen Ausweg gefunden haben würde, wenn nicht bald ein Mann von klarem Geiste diesen unnützen Versuchen ein Ende gemacht hätte. Dieser Mann war Alexander Volta, welcher durch seine Untersuchungen über das Elektrophor und den Condensator schon eine gute Schule durchgemacht hatte. Volta, Professor zu Pavia, wiederholte Galvani's Versuche mit unermüdlicher Aufmerksamkeit und fand bald, dass ein zum Gelingen des Versuchs sehr wichtiger Umstand bis dahin ganz übersehen oder doch nicht gehörig gewürdigt worden war. Um nämlich eine starke Wirkung zu erhalten, ist es durchaus nöthig, dass der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, aus zwei verschiedenen Metallen besteht, welche mit einander in Berührung sind.

Volta schloss aus seinen Versuchen, dass der Froschschenkel nicht wie eine Leydener Flasche zu betrachten sei; dass das hier wirkende Agens weder in den Nerven, noch in den Muskeln, sondern durch den Contact der beiden Metalle entwickelt werde und dass es mit der gewöhnlichen Elektricität vollkommen identisch sei. Es entspann sich nun ein langer, hartnäckiger wissenschaftlicher Streit zwischen Volta und Galvani, der deshalb so sehr interessant wurde, weil der Sieg sich bald dahin, bald dorthin zu neigen schien, bis er endlich Volta zufiel, wobei jedoch zu beachten ist, dass lange nach Galvani's Tode auch dessen Ansicht über eine Elektricitätsquelle innerhalb des Froschkörpers gerechtfertigt wurde. Man lese hierüber die ausgezeichnete Darstellung Du Bois Reymond's im 1. Bande seiner Untersuchungen über die thierische Elektricität.

Volta's Lehre von der Elektricitätsentwickelung durch die Berührung verschiedener Metalle wurde längere Zeit allgemein als die richtige angenommen, bis eine genauere Untersuchung der chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes und der Rolle, welche die Flüssigkeiten in der alsbald zu besprechenden Volta'schen Säule spielen, die meisten Physiker veranlasste, die Volta'sche Contacttheorie entweder gänzlich aufzugeben oder dieselbe doch wesentlich zu modificiren. Die allerneuesten Arbeiten gehen darauf hinaus, der Contacttheorie jeden Boden zu entziehen.

78 **Der Volta'sche Fundamentalversuch.** Die wichtigste Entdeckung Volta's war die, dass ohne Zuhilfenahme eines Froschpräparates bei der Berührung von heterogenen Metallen elektrische Erscheinungen wahrgenommen werden.

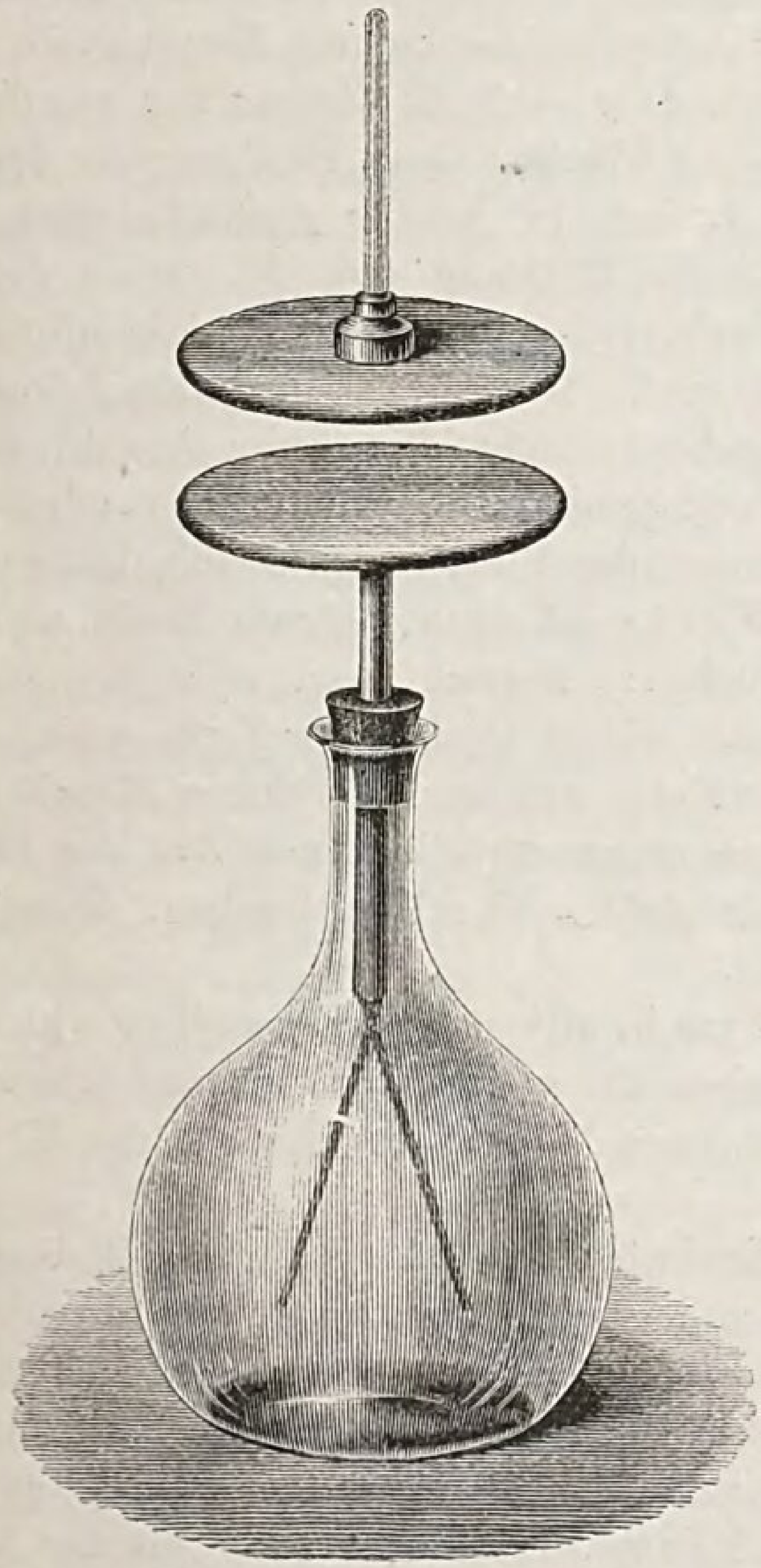
Soll die Entstehung von Elektricität bei der Berührung verschiedener Metalle auf einwurfsfreie Weise nachgewiesen werden, so muss man das Experiment so anstellen, dass in keiner Weise eine Berührung mit Flüssigkeiten, ja nicht einmal mit der feuchten Oberfläche der Hand des Experimentators stattfindet. Wir wollen die Versuche der Reihe nach nummeriren, um uns bequemer darauf berufen zu können.

1. Versuch. Auf ein Goldblattelektroskop von der in Fig. 217 dargestellten Form wird eine nicht gefirnisste kupferne Platte, ähnlich der eines Condensators, aufgeschraubt. Man überzeugt sich zunächst, dass durch die Berührung der Goldblättchen mit dem Kupferdraht, an dem sie befestigt sind, keine merkliche Elektricitätsmenge entwickelt wird, da keine Divergenz erfolgt. (Wollte man in dieser Hinsicht noch sicherer gehen, so müsste man die Blättchen, den Stiel und die Platte aus demselben Metalle herstellen; wir werden später zeigen, dass diese Vorsicht unnöthig ist.) Setzt man dann auf die wohl gereinigte Kupferplatte eine ebensolche Zinkplatte, die man an einem isolirenden Glasstiele angefasst hat, so bemerkt man noch immer keine Divergenz der Blättchen, weil die entwickelten Elektricitätsmengen zum allergrössten

Theile an der Contactfläche sich gegenseitig binden und nur ein sehr kleiner Theil (bei einem Versuche $\frac{1}{700}$ der ganzen Menge) sich frei über die Blättchen ausbreiten kann.

Hebt man nun aber die Zinkplatte isolirt in paralleler Lage ab, so wird man, falls das Elektroskop genügend empfindlich ist, eine sehr schwache Divergenz der Blättchen beobachten, welche durch vorsichtige Annäherung einer geriebenen Glasstange vermindert, also durch negative Elektricität hervorgerufen wurde.

Fig. 217.



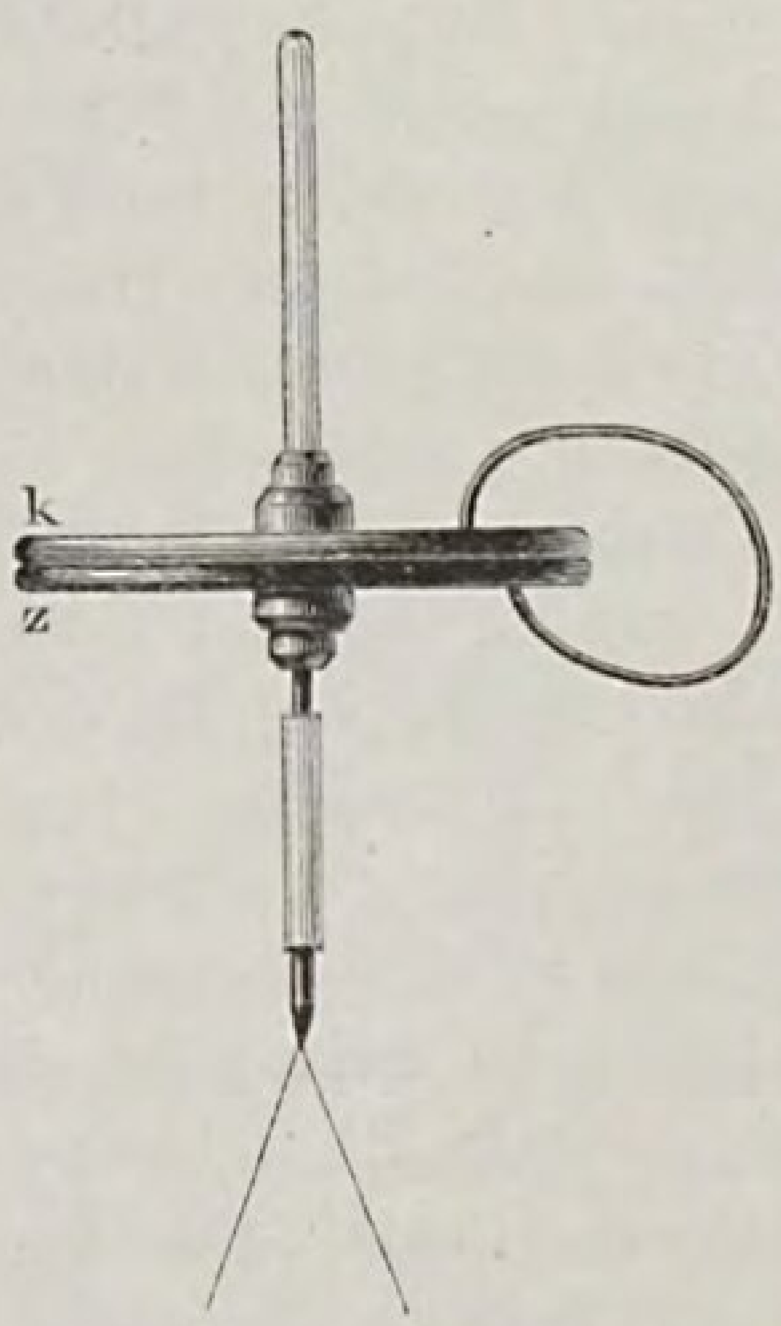
Kehrt man den Versuch in der Weise um, dass man die Zinkplatte mit dem Elektroskop verbindet und eine isolirte Kupferplatte aufsetzt und abhebt, so zeigen die divergirenden Blättchen positive Elektricität. Dieser Versuch misslingt leicht wegen nicht genügender Empfindlichkeit des Elektroskops. Sicherer gelingt derselbe mit einem Elektroskop anderer Einrichtung, bei welchem ein einziges Goldblättchen in der Mitte zwischen zwei entgegengesetzt elektrisirten Metallplättchen herabhängt. Es wird dann das Blättchen nach der einen oder anderen Seite hingezogen. Wir werden später ein solches Instrument kennen lernen.

2. Versuch. Wir bedienen uns desselben Apparates, heben aber die obere Platte nicht parallel in die Höhe, sondern ziehen sie seitwärts ab oder wir berühren nur einen Punkt der einen Platte mit einem solchen der anderen, kurz verfahren so, dass zwar Berührung stattfindet, aber keine Condensatorwirkung eintreten kann. Es erfolgt keine merkliche Divergenz der Blättchen.

3. Versuch. Der Apparat ist der frühere, nur sind die Metallplatten an der zugekehrten Seite gefirnisst, so dass daselbst kein Contact

stattfindet. Man setzt die Zinkplatte auf die mit dem Elektroskop verbundene Kupferplatte und berührt nun die äusseren nicht gefirnissten Stellen der beiden Platten gleichzeitig mit den Enden eines Kupferdrahtes (Fig. 218), den man isolirt halten kann. Nach dem Entfernen des Drahtes und dem Abheben der Zinkplatte zeigt das Elektroskop eine gleich starke negative Ladung, wie beim 1. Versuche, woraus wir schliessen, dass es auf die Grösse der berührenden Flächen nicht ankommt. Damit ist aber nicht gesagt, dass auch die Grösse der condensirenden Flächen ohne Einfluss sei, der Versuch 2. hat ja bereits gezeigt, dass keine merkliche Wirkung eintritt, wenn die sich gegenüberstehenden Flächen nicht hinlänglich gross sind. Wir schliessen daraus, dass beim Versuche 1. nicht die grosse Anzahl der Berührungspunkte, sondern nur die condensirende Wirkung der Platten den Erfolg bedingt.

Fig. 218.



Wichtig ist noch folgende Modification des Versuches: Nimmt man statt des Kupferdrahtes einen Draht aus Zink oder irgend einem andern Metall, oder eine Kette aus irgend welchen Metallstücken zusammengesetzt, so erfolgt stets ganz derselbe Ausschlag des Elektroskops, so lange die Condensatorplatten dieselben bleiben. Diese Thatsache werden wir später deuten.

4. Versuch. Derselbe ist dazu bestimmt, den Einwurf zu widerlegen, dass bei den bisherigen Versuchen die nicht ganz ausgeschlossene Reibung oder der Stoss der heterogenen Metalle die Ursache der Elektricitätsentwickelung sei.

Man setzt die isolirte, gefirnisste Zinkplatte auf die mit dem Elektroskop verbundene ebenfalls gefirnisste Kupferplatte und berührt nun die nicht gefirnissten äusseren Flächen mit den Enden eines gekrümmten Blechstreifens, welcher aus einem Stück Zinkblech und einem Stück Kupferblech zusammengesetzt ist. Der Blechstreifen wird so angelegt, dass das Zinkende mit der Zinkplatte, das Kupferende mit der Kupferplatte in Berührung kommt. Um die Evidenz der aus diesem Experiment zu ziehenden Schlüsse nicht zu stören, wird man den Blechstreifen aus den beiden Metallstücken nicht durch Löthen mit einem dritten Metall, sondern durch Nieten oder Zusammenbiegen vereinigen und an einem isolirenden Halter anfassen. Doch sind diese Maassregeln zum Erfolg nicht erforderlich. Es zeigt sich nach Entfernung des Streifens und Abheben der Platte ganz dieselbe Elektrisirung, wie beim Versuche 1. oder 3. Da nun diesmal die Berührung der heterogenen Metalle nicht mit Reibung verknüpft ist, und andererseits die schwache Reibung von Kupfer mit Kupfer, und Zink mit Zink keine

Elektricität erzeugen kann, so ist die Erklärung durch Reibung oder Stoss ausgeschlossen.

5. Versuch. Um stärkere Divergenz der Goldblättchen zu erreichen, oder auch an einem minder feinen Elektroskope die Berührungselektricität nachzuweisen, verfährt man folgendermaassen:

Die gefirnisste Zinkplatte wird auf die gefirnisste Kupferplatte des Elektroskops aufgesetzt und nun ein zweites nicht gefirnisstes Plattenpaar aus Zink und Kupfer an isolirenden Handgriffen gefasst und mit den blanken Flächen an einander gelegt und wieder getrennt. Hierauf werden diese beiden Platten an die gleichartigen Platten des Condensators an den nicht gefirnissten Stellen angelegt und nun dieser Vorgang der Zusammenlegung, Trennung und Anlegung an die Condensatorplatten mehrmals, z. B. 20mal, wiederholt. Endlich wird die obere Condensatorplatte abgehoben, worauf ein viel stärkerer Ausschlag an den Goldblättchen als bei den früheren Versuchen beobachtet wird. Dabei zeigt sich stets die Zinkplatte positiv, die Kupferplatte negativ geladen. War z. B. die Kupferplatte die untere, so divergiren die Blättchen beim Abheben der Zinkplatte mit negativer Elektricität; hat man dann diese durch Berühren mit dem Finger abgeleitet, so bringt nun die wieder aufgesetzte, oder mit der unteren Platte in Verbindung gesetzte Zinkplatte einen neuerlichen Ausschlag positiver Elektricität hervor.

6. Versuch. Der nun folgende Versuch schliesst zwar die Berührung mit der Hand des Beobachters, also die Intervention der Feuchtigkeit der Haut nicht aus, ist aber dennoch derartig angeordnet, dass aus diesem Umstande kein stichhaltiger Einwurf gegen die Beweiskraft des Versuches abgeleitet werden kann.

Das Elektroskop trage wiederum eine gefirnisste Kupferplatte, auf welche die ebenfalls gefirnisste Zinkplatte gesetzt wird. Nun berührt man die Kupferplatte an der unteren nicht gefirnissten Seite mit einem in der einen Hand gehaltenen Zinkstücke und zugleich die obere Zinkplatte mit einem Finger der anderen Hand (Fig. 219 a. f. S.). Entfernt man dann das Zinkstück und hebt die Zinkplatte ab, so zeigt das Elektroskop negative Elektricität. Dieselbe Wirkung erzielt man, wenn man die obere (Zink-) Platte mittelst eines in der Hand gehaltenen Kupferstäbchens und zugleich die untere (Kupfer-) Platte mit der Hand berührt. Die Erklärung ist einfach folgende:

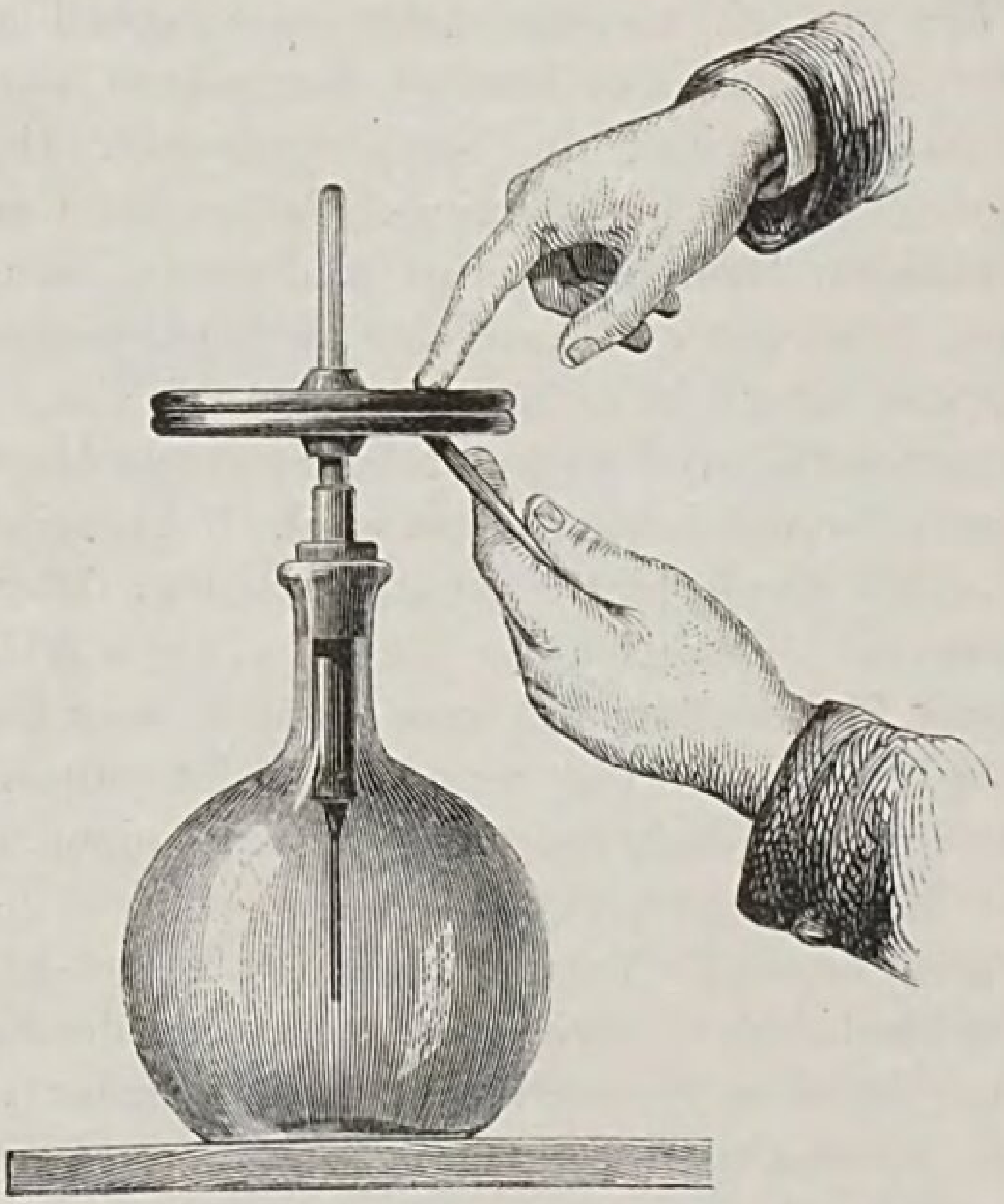
Während der Berührungen ist bei diesen beiden Versuchsanordnungen die Aufeinanderfolge der Körper durch nachstehende Schemata gegeben:

I.	II.
Hand	Hand
Zinkplatte	Kupferstange
Firniss	Zinkplatte
Kupferplatte	Firniss
Zinkstange	Kupferplatte
Hand	Hand

Betrachten wir zunächst die Anordnung I.:

Durch Berührung des Zinks mit der Feuchtigkeit der Handoberfläche wird dasselbe, wie wir später erfahren werden, negativ elektrisch. Die so oberhalb und unterhalb der Firnissschicht erzeugten gleich grossen Mengen negativer Elektricität binden gegenseitig jenseits der Firnissschichte ein Quantum positiver Elektricität, welches die negative auf derselben Seite nahezu ganz neutralisirt. Wir können daher von der Wirkung der Berührungsflächen an der Hand unten und oben ganz absehen, da hieraus keine elektrische Differenz der Ladungen hervorgehen kann. Da nun die Kupferplatte negative Elektricität enthält, welche auf der oberhalb der Firnissschicht vorhandenen Zinkplatte positive Elektricität bindet und andererseits die positive Berührungselektricität der unterhalb befindlichen Zinkstange, sowie die negative Influenzelektricität der Zinkplatte durch die berührenden Hände zur Erde abgeleitet werden, so bleibt Nichts zurück, als negative Elektricität unterhalb und positive oberhalb der Firnissschichte. Beim Abheben wirkt also erstere auf das Elektroskop. Bei der Anordnung II. kommen zunächst ebenfalls die Wirkungen der beiden Berührungsflächen zwischen Kupfer und Hand ausser Betracht, da sie sich gegenseitig aufheben. Die Kupferstange erhält durch die Zinkplatte negative Berührungselektricität, welche durch die Hand abfliesst. Die positive Berührungselektricität der Zinkplatte bindet negative Influenzelektricität auf der Kupferplatte, deren positive Influenzelektricität durch die Hand abfliesst. Nach dem Abheben zeigt sich daher die Kupferplatte wiederum negativ elektrisch.

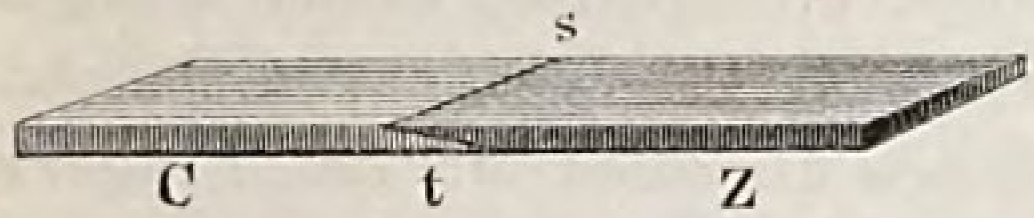
Fig. 219.



Will man auch bei diesen Versuchen die Möglichkeit einer Reibung zwischen den heterogenen Metallen ausschliessen, so bedient man sich der schon von Volta angewendeten Doppelplatte, Fig. 220, welche aus einer Zink- und einer Kupferplatte zusammengesetzt ist. Man fasst dann

bei der Anordnung I. diese Doppelplatte am Zinkende, bei der Anordnung II. am Kupferende, so dass stets am Condensator nur gleiche Metalle in Berührung kommen, und nur die Contactstelle in der Mitte der Doppelplatte wirken kann. Während bei den früheren Versuchen stets die ganze an der Berührungsstelle angehäufte Elektricität auf den Condensator übertragen wurde und zur Wirkung kam, ist es diesmal nur die über die Oberfläche der einen Hälfte der Doppelplatte sich ausbreitende Elektricität, welche wir im Condensator ansammeln. Um davon aber eine genügende Menge ansammeln zu können, musste eben die freie Elektricität der anderen Hälfte der Doppelplatte abgeleitet werden.

Fig. 220.



Fasst man dagegen die Doppelplatte mit einer isolirenden Handhabe und bringt eine Hälfte derselben mit der gleichartigen Condensatorplatte zur Berührung, so ist nachher keine merkliche Elektricitätsmenge auf derselben vorhanden.

Dieser Versuch lässt uns folglich auch einsehen, warum eine Verschiedenheit des Metalls der Elektroskopblättchen und der unteren Condensatorplatte keine merkliche Menge von Berührungselektricität zu erzeugen vermag. Es steht also der Anwendung der Goldblättchen Nichts im Wege (siehe oben Versuch 1.).

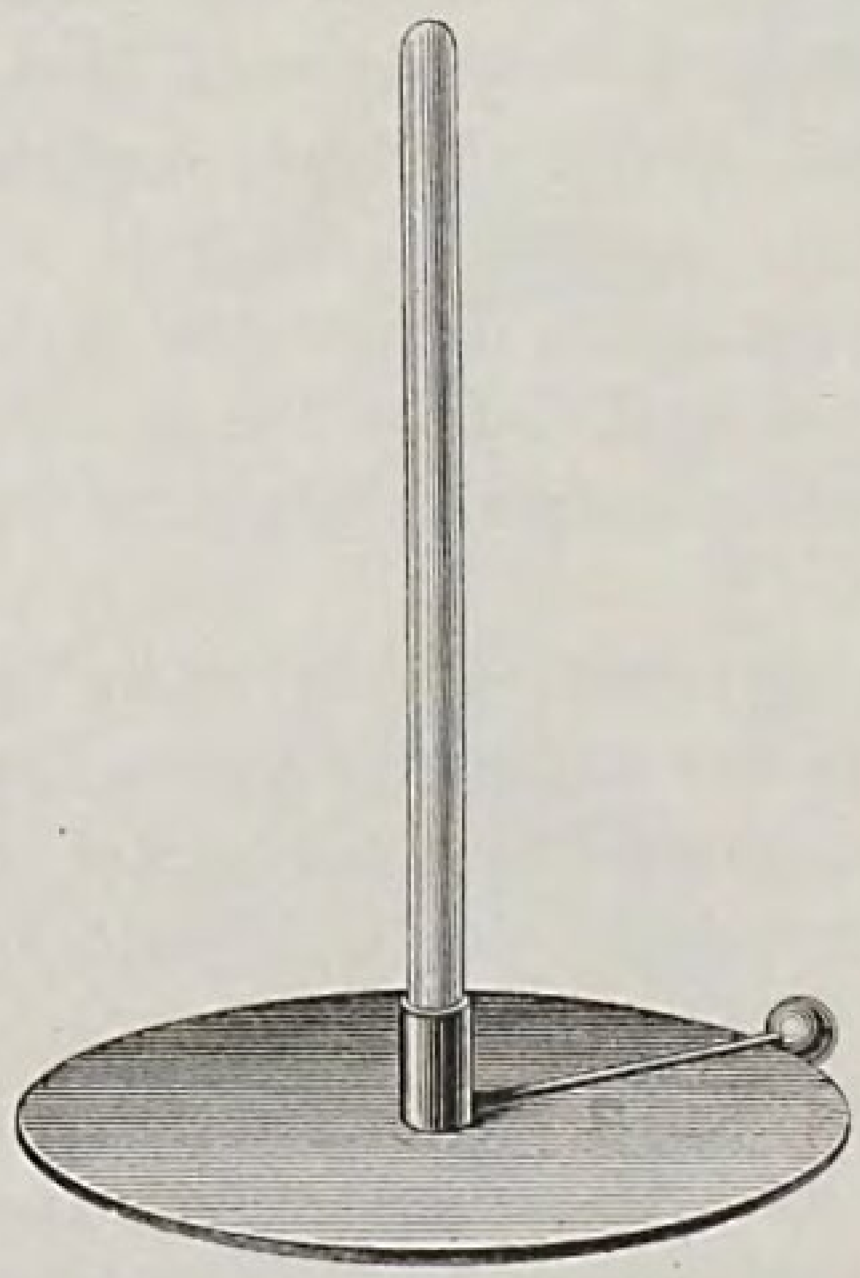
7. Versuch. Setzt man auf ein Elektroskop einen Condensator mit Platten aus gleichem Metalle, z. B. mit zwei Messingplatten, so gelingen die Versuche 3. bis 5. nicht. Es ist in diesem Falle überhaupt nicht möglich, irgend eine rein metallische Verbindung zwischen den ungefirnissten Aussenseiten der Condensatorflächen herzustellen, welche die Versuche gelingen lässt, mag diese Verbindung aus einem oder aus mehreren Metallen hergestellt werden. Dagegen gelingt der Versuch 6. auch dann, wenn man beide Platten aus Messing oder Kupfer herstellt. Aber in diesem Falle sind mit der ableitenden Hand oberhalb und unterhalb nicht dieselben Metalle in Berührung und man darf daher nicht mehr annehmen, dass die Wirkungen dieser Berührungsflächen oben und unten sich aufheben. Der Versuch 6., mit gleichen Condensatorplatten angestellt, hat daher keine Beweiskraft für die Entstehung von Elektricität bei der Berührung zweier Metalle. Eine kettenförmige Anordnung von Metallen und Flüssigkeiten kann daher auch dann, wenn beide Enden aus demselben Metalle bestehen, an diesen eine elektrische Differenz zeigen, eine Thatsache, welche sich in der Folge als sehr wichtig herausstellen wird.

Von Beetz stellt den Volta'schen Fundamentalversuch in der Vorlesung mit Hilfe des von ihm construirten Bifilarelektroskops (S. 98) auf folgende Weise an. Auf einen ebenen, trockenen, staubfreien Tisch wird eine messingene Condensatorplatte mit Glasgriff (Fig. 221 a. f. S.) hingestellt. Diese Platte hat auf der Rückseite eine kleine messingene

Kugel und auf der Unterseite derselben sind drei Tröpfchen Schellack aufgetragen, welche dieselbe von der Tischfläche isoliren. Letztere vertritt die zweite Condensatorplatte, da sie hinlänglich gut leitet, um die Influenzelektricität 2. Art abzuführen.

Man fasst nun eine Zink- und eine Kupferplatte, welche beide nicht gefirnisst sind, mit beiden Händen an ihren Glasstielen und drückt sie an einander, wobei man eine der Platten überdies mit den Fingern an der Rückseite ableitend berührt. Die andere Platte wird dann mit dem Kügelchen der auf dem Tische befindlichen Condensatorplatte zur Berührung gebracht und dieses Verfahren 10 bis 15 mal wiederholt. Die vorsichtig parallel abgehobene Condensatorplatte wird dann dem Hollundermarkkügelchen des Elektroskops, welches man vorher möglichst stark mit der gleichen Elektricität geladen hatte, genähert und dabei eine sehr kräftige weithin sichtbare Abstossung erzielt.

Fig. 221.



Gegen diese Art des Experiments ist jedoch einzuwenden, dass es nicht die Elektricitätsentwickelung durch Berührung trockener Metalle beweist, weil eine einseitige Berührung mit der Handoberfläche stattgefunden hat. Derselbe Apparat kann jedoch, wenn Alles in recht gutem Zustande ist, noch so benutzt werden, dass man die Kupfer- und Zinkplatte ganz isolirt zur Berührung bringt und unmittelbar darauf von beiden Seiten dem vorher elektrisirten Hollundermarkkügelchen nähert. War dasselbe positiv geladen, so wird es von der Zinkplatte abgestossen und von der Kupferplatte angezogen. (Edelmann: Neuere Apparate etc. Stuttgart 1879, S. 74.)

Recht gut lässt sich der Volta'sche Fundamentalversuch mittelst eines Thomson'schen Quadrantenelektrometers (Seite 134) anstellen, bei welchem die vier Quadrantenplatten statt aus Messing abwechselnd aus Kupfer und Zink gearbeitet sind. Wenn die Aluminiumplatte positiv elektrisch ist und über den unverbundenen Quadrantenplatten zur Ruhe gekommen war, so erleidet sie eine Ablenkung gegen die Kupferplatten hin, sobald man diese mit den Zinkplatten in leitende Verbindung setzt. Es muss also zwischen dem Zink und dem Kupfer eine Potentialdifferenz aufgetreten sein und zwar in dem Sinne, dass das Zink positiv, das Kupfer negativ elektrisch wurde. Richtung und Grösse dieser Ablenkung sind unabhängig von der Natur des Verbindungsdrahtes. Dieser Versuch beweist also die Existenz freier Elektricitäten auf den sich berührenden heterogenen Metallen.

Die elektromotorische Kraft. Durch die im vorigen Paragraphen aufgeführten Versuche betrachten wir es als erwiesen, dass unter den gegebenen Umständen bei der Berührung heterogener Metalle das eine derselben positive, das andere negative Elektricität erhält. (Wir sagen ausdrücklich bei der Berührung und nicht durch die Berührung.) Zur Erzeugung oder Scheidung entgegengesetzter Elektricitäten ist aber ein gewisser Aufwand von Arbeit erforderlich und dazu gehört eine Kraft, welche man die elektromotorische Kraft oder galvanische Scheidekraft nennt. Die Frage nach dem Sitze dieser Kraft, welche die Physiker ausserordentlich viel beschäftigt hat, lassen wir vor der Hand unberührt. Im §. 70 haben wir gezeigt, dass die Arbeit, welche zur Erzeugung einer Elektricitätsmenge und zur Anordnung derselben in bestimmter Lage und Vertheilung erforderlich ist, identisch ist mit dem Potential dieser Elektricitätsmenge; die Arbeit also, welche von der elektromotorischen Kraft geleistet wird, indem ein Stück Zink bei der Berührung mit einem Stück Kupfer positiv elektrisch wird, ist gleich dem Potential dieser positiven Elektricität. Um das Kupfer negativ zu elektrisiren, ist eine gleich grosse Arbeit erforderlich. Da aber das Potential negativer Elektricität ebenfalls negativ ist, so erhält man die ganze geleistete Arbeit gleich der algebraischen Potentialdifferenz zwischen Zink und Kupfer. 79

Nehmen wir nun den speciellen Fall, dass die beiden Metallstücke ganz gleiche Gestalt und Grösse haben, so sind auch die Potentiale in den beiden Platten gleich gross und entgegengesetzt. Ist also das Potential auf dem das Kupfer berührenden Zink $= + V$, so ist das auf dem Kupfer $= - V$, also die Potentialdifferenz $= + 2V$. Vergleicht man nun gleich gestaltete und gleich grosse Plattenpaare aus verschiedenen Metallcombinationen, so sind die Potentialdifferenzen ungleich gross, was man daraus erkennt, dass die gesammten auf den Platten aufgehäuften Elektricitätsmengen ungleich gross sind. Offenbar sind nämlich bei gleicher Gestalt und Grösse der Metallstücke die Potentiale den gesammten Elektricitätsmengen proportional. Den letzteren sind aber offenbar auch die auf der Oberflächeneinheit an gleich liegenden Punkten angehäuften freien Elektricitätsmengen, d. h. die Dichten der Elektricität, also auch die Spannungen derselben proportional. Man kann also in diesem Falle auch die Potentialdifferenz der Spannungsdifferenz proportional setzen und die letztere als Maass der elektromotorischen Kraft betrachten. Wenn wir also sagen, die elektromotorische Kraft einer Metallcombination, z. B. Zink-Kupfer, wofür man das Zeichen Zink | Kupfer oder Zn | Cu gebraucht, sei 8 mal so gross, als die elektromotorische Kraft Kupfer | Gold oder Cu | Au, so hat dieser Ausspruch folgende Bedeutung. Man denke sich gleichgestaltete und gleich grosse Plattenpaare aus diesen Metallen in Berührung gebracht; es verhalten sich dann sowohl die gebundenen als die frei befindlichen Elektricitätsmengen des ersten Paares zu denen im zweiten wie 8 : 1

und ebenso ist die Dichte oder Spannung an jeder Stelle der ersten Combination 8 mal so gross, wie an der entsprechenden Stelle der zweiten. Trennt man die Platten, so sind dann auch die gesammten nun frei gewordenen Elektricitäten in demselben Verhältnisse stehend.

Sind die mit einander in Berührung gebrachten Metallstücke ungleich gross, oder von verschiedener Gestalt, so entsteht stets dieselbe Potentialdifferenz, auch sind natürlich die entwickelten positiven und negativen Elektricitätsmengen unter sich gleich gross. Dagegen sind diese Mengen von Fall zu Fall verschieden. Die Vertheilung auf den Stücken erfolgt so, wie wenn statt der elektromotorischen Kraft eine unendlich dünne isolirende Schichte die Wiedervereinigung der Elektricitäten hindern würde.

Bezeichnen wir die Grösse der Berührungsfläche mit f,
die Oberflächen der beiden Metallstücke mit f_1 und f_2,
die mittleren Dichten der freien Elektricitäten mit δ_1 und δ_2,
die mittleren Dichten der gebundenen Elektricität mit d_1 und d_2,
die Gesammtmengen der geschiedenen Elektricitäten mit E_1 und E_2,
so ist einmal erstens, wenn die Metallstücke gegen Aussen isolirt waren, stets:

$$E_1 = - E_2.$$

Ferner ist

$$E_1 = f_1\, \delta_1 + f\, d_1, \qquad E_2 = f_2\, \delta_2 + f\, d_2.$$

Da ferner die sich bindenden Elektricitätsmengen $f d_1$ und $- f d_2$ einander sehr nahe gleich sein müssen, so kann man

$$f d_1 = - f d_2$$

setzen und hat folglich auch

$$f_1 \delta_1 = - f_2 \delta_2,$$

woraus folgt, dass die Dichten der beiden Elektricitäten den Oberflächen der Metallstücke verkehrt proportional sind.

Sind diese Oberflächen gleich gross, so sind auch die Dichten gleich. So lange also die Metallstücke in Berührung bleiben, sind die Dichten der freien Elektricitäten verkehrt proportional den Oberflächen, aber unabhängig von der Grösse der Berührungsfläche.

Anders nach der Trennung, denn da werden auch die früher gebundenen Elektricitätsmengen frei, diese sind aber der Berührungsfläche proportional. Da die ursprünglich freien Elektricitätsmengen meist sehr klein sind gegenüber den gebundenen, so folgt, dass die nach der Trennung der Metallstücke vorhandenen Elektricitätsmengen desto grösser sind, je grösser die Berührungsfläche war.

Es ist demnach nicht gleichgiltig, in welcher Weise man zwei vorhandene Metallstücke in Berührung bringt. Die Potentialdifferenz ist zwar stets dieselbe, so lange die Metalle (und deren Temperatur)

dieselben bleiben. Aber die Mengen von Elektricität, welche zur Herstellung der gleichen Potentialdifferenz auf die Metallstücke übergehen müssen, hängen von der Grösse, Gestalt und Lage der Metallstücke ab. Diese Mengen werden z. B. bei zwei Metallplatten am grössten sein, wenn man sie flach zusammenlegt, dagegen nur klein, wenn sich dieselben nur in einem Punkte berühren. Diesen Sachverhalt hat uns schon der Versuch 2. des vorigen Paragraphen experimentell erwiesen.

Nun haben wir noch einen wichtigen Punkt zu erörtern.

Eine Zink- und eine Kupferplatte gleicher Grösse und Gestalt seien zur Berührung gebracht und es seien die Dichten der freien Elektricitäten an correspondirenden Stellen $+ e$ und $- e$ geworden. Nun führen wir von Aussen so viel positive Elektricität zu, dass die Dichte $+ e$ sich verdoppelt, also $+ 2e$ wird. Offenbar wird dann gleichzeitig auch die Dichte $- e$ der gegenüberliegenden Stelle um $+ e$ zunehmen, also $= 0$ werden, so dass also jetzt die Zinkplatte doppelt so viel und die Kupferplatte gar keine freie Elektricität mehr besitzt. Die elektromotorische Kraft kann nämlich den Durchfluss der künstlich von Aussen zugeführten Elektricität nicht verhindern, sie kann nur eine bestimmte algebraische Differenz zwischen den beiderseitigen freien Spannungen aufrecht erhalten *). Die Differenz zwischen $+ e$ und $- e$ ist gleich $+ 2e$, mithin muss, sobald $+ e$ auf $+ 2e$ erhöht wird, $- e$ in Null übergehen, denn dann ist wiederum die Differenz zwischen $+ 2e$ und Null $= + 2e$.

Die beiden Platten können demnach beispielsweise gleichzeitig folgende Spannungen an correspondirenden Punkten besitzen:

Zinkplatte	Kupferplatte
$+ e$	$- e$
$+ 2e$	0
$+ 3e$	$+ e$
$+ 4e$	$+ 2e$
0	$- 2e$
$- e$	$- 3e$
$- 2e$	$- 4e$ etc.

So oft also eine der Platten keine freie Elektricität mehr besitzt, was natürlich auch dann der Fall ist, wenn man ihre Elektricität abgeleitet hat, ist jedesmal die Spannung auf der nicht abgeleiteten Platte noch einmal so gross, als wenn beide Platten isolirt geblieben wären. Sind die Platten ungleicher Grösse oder Gestalt, so kann nur behauptet werden, dass stets dieselbe Potentialdifferenz aufrecht er-

*) Man könnte die Wirksamkeit der elektromotorischen Kraft mit der eines belasteten Sicherheitsventils vergleichen, welches nur bis zu einer gewissen Spannungsdifferenz zwischen Dampfkessel und Atmosphäre geschlossen bleibt, dagegen bei Vermehrung der Spannung im Kessel, oder Verminderung derselben ausserhalb sich öffnet, bis wieder die ursprüngliche Spannungsdifferenz eingetreten ist.

halten bleibt. Wird also das Potential auf einer Seite = 0, so wird es auf der anderen Seite verdoppelt. Die Spannungen sind dann natürlich von der Gestalt und Grösse abhängig, da es in diesem Falle keine correspondirenden Stellen giebt. Dennoch pflegt man, indem man gewissermaassen die gleiche Grösse und Gestalt der Platten stillschweigend voraussetzt, statt der constanten Potentialdifferenz die constante Spannungsdifferenz als Folge der elektromotorischen Kraft zu bezeichnen.

Fassen wir die in diesem Paragraphen mitgetheilten wichtigsten Sätze nochmals zusammen:

1. Elektromotorische Kraft nennen wir die Ursache, welche bewirkt, dass bei der Berührung heterogener Leiter eine solche Vertheilung der Elektricitäten stattfindet, welche eine constante Potentialdifferenz der Elektricität auf den sich berührenden Leitern hervorbringt.

2. Die Grösse der elektromotorischen Kraft ist unabhängig von der Lage, Gestalt und Grösse der sich berührenden Leiter und von der Grösse der Berührungsfläche; sie ist dagegen abhängig von der Natur der Körper.

3. Bei gleicher Grösse, Gestalt und Lage der sich berührenden Körper bleibt die algebraische Differenz der Dichten der Elektricität, also auch ihrer Spannungen an den correspondirenden Stellen der Oberflächen constant und ändert sich auch nicht bei Zu- oder Ableitung von Elektricität. Bei verschiedenen Körpern ist diese Spannungsdifferenz proportional der elektromotorischen Kraft.

4. Die Menge der entwickelten Elektricitäten ist gleich der Summe der freien und der an der Berührungsstelle gebundenen. Erstere hängt ab von Grösse, Gestalt und Lage der sich berührenden Körper, letztere von der Grösse der Berührungsfläche. Die Gesammtmenge der entwickelten Elektricitäten ist daher ausser von der elektromotorischen Kraft auch abhängig von der Grösse, Gestalt und Lage der sich berührenden Körper.

Diese Sätze sind Erfahrungssätze und unabhängig von jeder Theorie über den Ursprung und den Sitz der elektromotorischen Kraft.

80 **Die Spannungsreihe.** Nach Satz 2 am Schlusse des vorigen Paragraphen ist die elektromotorische Kraft von der Natur der sich berührenden Körper abhängig. Wenn man daher den Volta'schen Fundamentalversuch mit verschiedenen Metallpaaren anstellt, so erhält man am Elektrometer unter sonst gleichen Umständen verschieden grosse Ausschläge. Die folgenden Tabellen enthalten nach verschiedenen Autoren aufgestellte Reihen von Körpern, welche so geordnet sind, dass immer jeder vorausgehende positiv, jeder nachfolgende negativ elektrisch wird.

Volta	Seebeck	Pfaff	Pictet
+	+	+	+
Zink	Zink	Zink	Zink
Blei	Blei (polirt)	Cadmium	Blei
Zinn	Zinn	Zinn	Zinn
Eisen	Blei (rauh)	Blei	Wismuth
Kupfer	Antimon	Wolfram	Antimon
Silber	Wismuth	Eisen	Eisen
Gold	Eisen	Wismuth	Kupfer
Kohle	Kupfer	Antimon	Gold
Graphit	Platin	Kupfer	—
Braunstein	Silber	Silber	—
—	—	Gold	—
—	—	Tellur	—
—	—	Platin	—
—	—	Palladium	—

Wie man sieht, stimmen diese Reihen nicht immer ganz überein, was durch Beobachtungsfehler oder auch durch Unreinheit der Metalle oder deren Oberfläche (Oxydation derselben) verursacht sein mag. Legen wir Volta's Reihe zu Grunde, so folgt aus derselben beispielsweise, dass Zink mit allen übrigen aufgeführten Körpern positiv, Braunstein mit allen übrigen negativ elektrisch wird, dass Kupfer mit Zink bis Eisen negativ, mit Silber bis Braunstein dagegen positiv elektrisch wird.

Volta begnügte sich nicht damit, die untersuchten Körper in eine Spannungsreihe zu ordnen, er versuchte auch aus den Ausschlägen des Strohhalmelektrometers relative Werthe für die elektromotorischen Kräfte abzuleiten. Es fand auf diese Weise die elektromotorischen Kräfte von:

Zink \| Blei = 5,	Kupfer \| Silber = 1,
Blei \| Zinn = 1,	Zink \| Silber = 12,
Zinn \| Eisen = 3,	Zinn \| Kupfer = 5,
Eisen \| Kupfer = 2,	Zink \| Eisen = 9.

Addirt man nun die elektromotorischen Kräfte der ersten fünf Combinationen, so erhält man als Summe 12. Diese Zahl ist gleich gross, wie die elektromotorische Kraft der Combination Zink | Silber, welche aus dem ersten und letzten Körper der ersten fünf Combinationen gebildet ist. Ebenso verhält es sich mit der Combination Zinn | Kupfer; denn man hat

$$\underbrace{\text{Zinn} \mid \text{Eisen}}_{3} + \underbrace{\text{Eisen} \mid \text{Kupfer}}_{2} = \underbrace{\text{Zinn} \mid \text{Kupfer}}_{5}$$

Ebenso mit der Combination Zink | Eisen; denn es ist

$$\underbrace{\text{Zink} \mid \text{Blei}}_{5} + \underbrace{\text{Blei} \mid \text{Zinn}}_{1} + \underbrace{\text{Zinn} \mid \text{Eisen}}_{3} = \underbrace{\text{Zink} \mid \text{Eisen}}_{9}$$

Volta entdeckte damit ein Gesetz, welches für alle Metalle und überhaupt alle festen Körper gilt, die man zum Volta'schen Versuche brauchen kann. Dasselbe lautet: Die elektromotorische Kraft zwischen zwei festen Körpern ist gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte aller dazwischen liegenden Combinationen der Spannungsreihe.

Nimmt man demnach aus einer Spannungsreihe drei Glieder heraus, die wir mit m_1, m_2, m_3 bezeichnen wollen, so ist stets

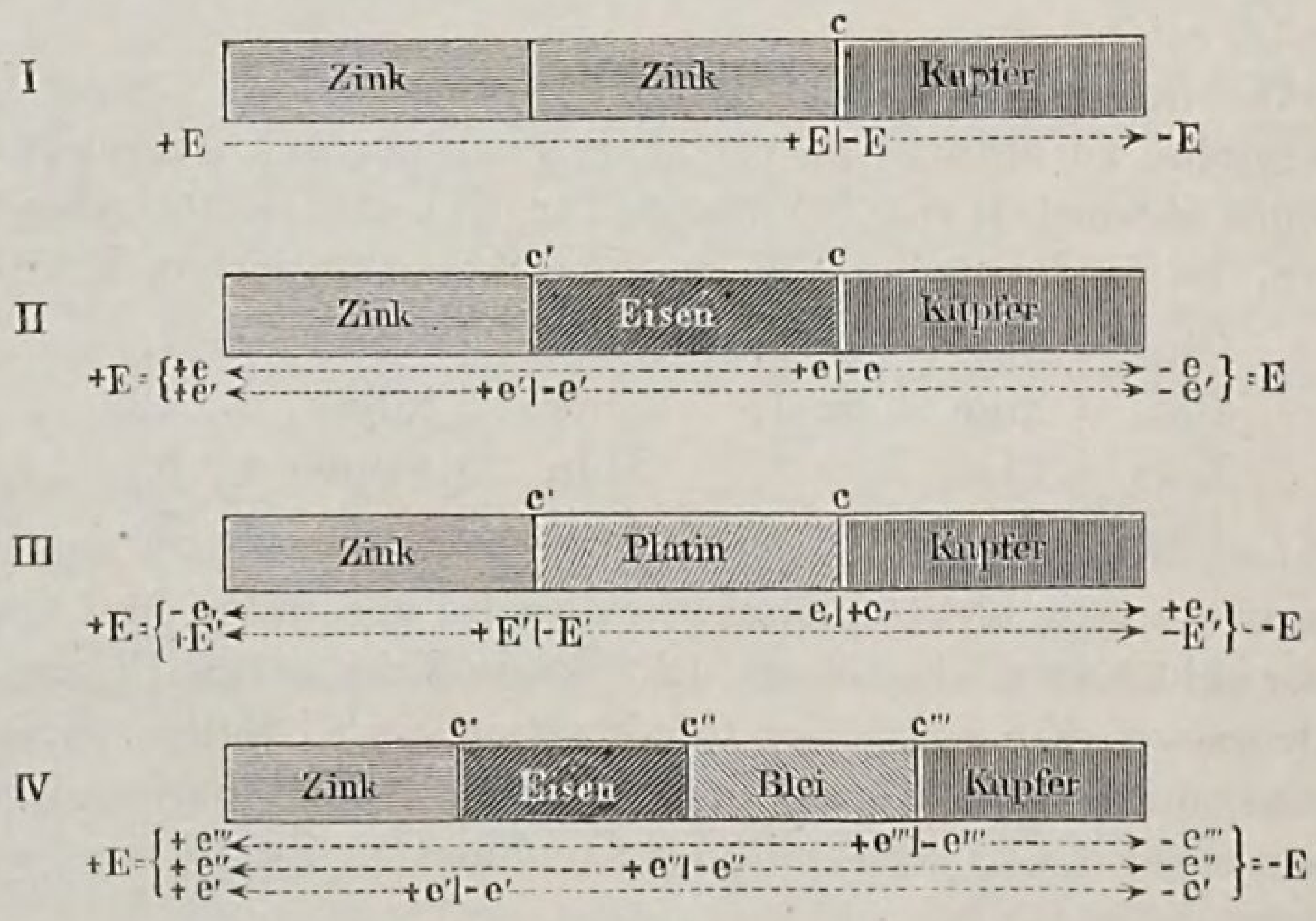
$$m_1 \mid m_2 + m_2 \mid m_3 = m_1 \mid m_3,$$

also auch

$$m_1 \mid m_2 = m_1 \mid m_3 - m_2 \mid m_3.$$

Waren auch Volta's Versuche nicht genau genug, um dieses Gesetz sicher nachzuweisen, so gelang es ihm doch, aus einer Thatsache dasselbe sicher abzuleiten, welche wir oben (§. 78, Versuch 3) mitgetheilt haben. Nimmt man einen Condensator aus zwei gefirnissten Platten verschiedener Metalle und verbindet man die beiden Platten durch ein drittes Metall, oder durch eine Kette irgend welcher Metallstücke, so erhält man nach dem Abheben stets denselben Ausschlag, wie wenn man die Verbindung mit einem jener Metalle hergestellt hätte, aus welchen die Condensatorplatten bestehen. Um dies zu erklären, fassen wir die Schemata der Fig. 222 ins Auge. Im Schema I. sind zwei Endstücke aus Zink und

Fig. 222.



Kupfer durch ein Mittelstück aus Zink verbunden. An der Contactstelle c tritt eine elektromotorische Kraft auf, welche die freien Elektricitätsmengen $+E$ über das Zink, $-E$ über das Kupfer ausbreitet. Denken wir uns die Endflächen gefirnisst und dann den ganzen Stab so gebogen, dass diese Firnissflächen sich berühren, so haben wir den

Fall eines Condensators aus Zink und Kupferplatte, welche durch einen Zinkdraht verbunden sind. Die freien Elektricitäten $+ E$ und $- E$ werden an der Firnissschicht gebunden und in Folge dessen an der Contactstelle so lange neue Mengen entwickelt, bis die ursprüngliche Potentialdifferenz wieder hergestellt ist.

Jetzt betrachten wir das Schema II. An der Contactstelle c wird diesmal eine kleinere elektromotorische Kraft entwickelt, die freien Elektricitäten betragen nur $+ e$ und $- e$, die letztere verbreitet sich über das Kupfer, die erstere über das Eisen und das Zink, denn die zwischen Zink und Eisen bei c' auftretende elektromotorische Kraft ist nicht im Stande, einer von Aussen zugeführten Elektricität den Weg zu versperren. Sie selbst setzt dagegen in c' die Elektricitäten $+ e'$ und $- e'$ in Freiheit, von denen $+ e'$ über das Zink, $- e'$ über das Eisen und das Kupfer sich ausbreitet. An den Endflächen sind daher einerseits die Mengen $+ e + e'$, andererseits $- e - e'$ verfügbar. Denken wir uns wiederum aus den Endstücken einen Zinkkupfercondensator gebildet, so ist derselbe diesmal durch Eisen statt durch Zink geschlossen. Der Versuch lehrt nun, dass der Condensator unter sonst gleichen Umständen ganz gleiche Ladung annimmt, wie im Falle I. Dies ist offenbar nur möglich, wenn $+ e + e' = + E$ und $- e - e' = - E$, denn die Ladung desselben Condensators kann nur dann gleich gross ausfallen, wenn die Spannungen der mit ihm verbundenen Elektricitätsquellen gleich gross sind. Es gilt dieser Satz auch dann, wenn zwischen den Endgliedern solche Metalle eingeschaltet sind, welche in der Spannungsreihe ihre Stellung ausserhalb der Endmetalle haben, wie sich leicht ergiebt, wenn man nur auf das Zeichen achtet. Das Schema III. stellt einen solchen Fall vor. Sind die elektromotorischen Kräfte:

$$\text{Zink} \mid \text{Platin} = + 2 E', \quad \text{Platin} \mid \text{Kupfer} = - 2 e_1,$$
$$\text{Zink} \mid \text{Kupfer} = + 2 E,$$

so gilt

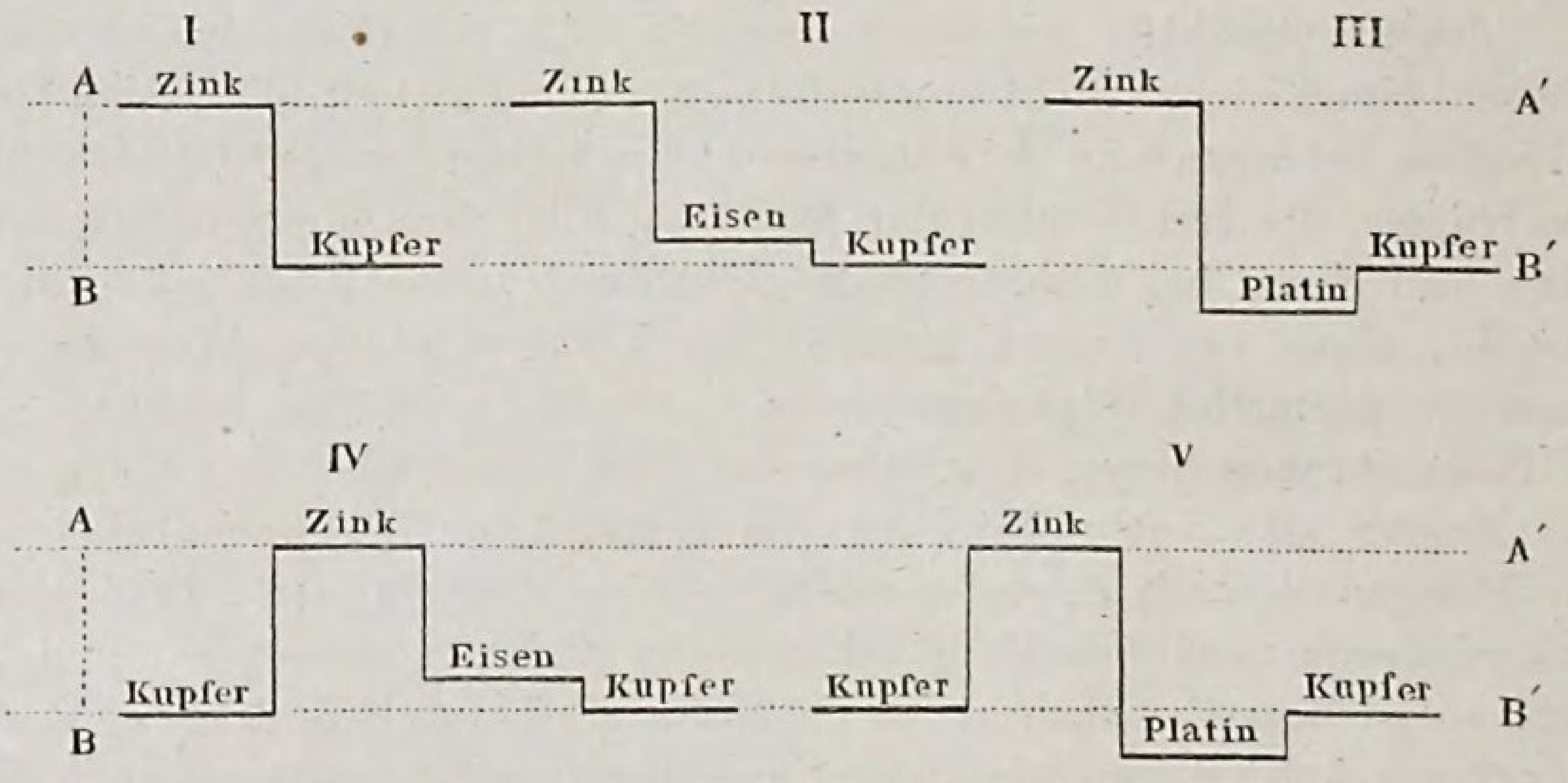
$$+ 2 E = + 2 E' - 2 e_1, \quad \text{oder} \quad + E = + E' - e_1.$$

Das Schema IV. stellt den Fall vor, dass vier Metalle verbunden sind und braucht wohl keine Erklärung mehr.

Viel übersichtlicher ist eine neuerdings üblich gewordene schematische Darstellungsweise der Potentialwerthe auf einer Reihe verbundener Leiter, wobei die Potentialdifferenzen durch senkrechte Abstände horizontaler Linien, welche letztere als Potentialniveaulinien zu betrachten sind, vorgestellt werden. Die Schemata der Fig. 223 (a. f. S.) sind in dieser Weise gezeichnet. Das Schema I. z. B. stellt die Combination Zink-Kupfer vor, die Höhendifferenz AB bedeutet die Potentialdifferenz zwischen diesen beiden Metallen. Schema II. zeigt die Combination Zink - Eisen - Kupfer, Schema III. die Combination Zink - Platin - Kupfer. So lange dieselben Metalle Zink und Kupfer an den Enden stehen, kann die Potentialdifferenz nie eine andere werden, als der Niveaudifferenz

AB entspricht, wenn auch die Zwischenglieder beliebig ausgewählt werden. In den Schematen IV. und V. bildet Kupfer beide Enden; die Potentialdifferenz an denselben kann daher nur $=$ Null, d. h. das Potentialniveau kann nur dasselbe sein. Die absolute Höhe des Potentials

Fig. 223.



hängt davon ab, ob die Metalle isolirt geblieben, oder abgeleitet worden sind. Wurde z. B. das Zink ableitend berührt, so setzen wir das Niveau $AA' = 0$, die übrigen Metalle erhalten dann negative Potentialhöhen. Wird das Kupfer abgeleitet, so setzen wir das Niveau $BB' = 0$, dann erhalten Zink und Eisen positive, Platin negative Potentialwerthe. Wären die Metalle isolirt geblieben, so ginge das Niveau $= 0$ in mittlerer Höhe zwischen AA' und BB' hindurch.

Wir machen hier nochmals darauf aufmerksam, dass das eben Vorgetragene den Anschauungen der bisher giltigen Contacttheorie entspricht. Nach der chemischen Theorie und den neuesten insbesondere durch Professor Exner entwickelten Anschauungen entsteht durch den Contact der Metalle selbst gar keine elektromotorische Kraft, also auch keine Potentialdifferenz. Die thatsächlich auftretenden Potentialdifferenzen entstehen durch die Oxydation der Metalle bei der Berührung mit dem Sauerstoff der Luft, wobei die dünne gut isolirende Oxydschicht eine dauernde Ladung annimmt. Die in Fig. 223 gegebenen Potentialschemata sind dann eben die Potentialschemata der Oxydschichten, während das Potentialschema der sich berührenden Metalle selbst stets durch eine horizontale Linie gegeben ist, die in der Höhe des abgeleiteten Metalls hindurchgeht. Wir kommen später auf Exner's Theorie zurück.

81 **Elektromotorische Kraft bei Berührung von festen mit flüssigen Leitern.** Dass bei der Berührung eines Metalls mit einer Flüssigkeit, z. B. von Zink mit Wasser, eine elektromotorische Kraft auftritt, kann man nach Buff auf folgende Weise zeigen. Auf ein sehr empfindliches Elektroskop, Fig. 224, wird eine Zink-

platte *a* aufgeschraubt, darauf eine möglichst dünne, an der Unterseite und am Rande gefirnisste, gut getrocknete Glasscheibe *b* von grösserem Durchmesser aufgelegt. Auf der oberen Seite wird sodann mittelst eines Pinsels mit Vermeidung des Randes eine Schichte der Flüssigkeit ausgebreitet oder auch ein mit derselben getränktes Blatt Fliesspapier aufgelegt. Hierauf berührt man mittelst eines isolirten Zinkdrahtes *d* einerseits die Zinkplatte, andererseits die Flüssigkeit. Hebt man dann nach Entfernung des Drahtes die Glasscheibe ab, so divergiren die Goldblättchen mit negativer Elektricität. Das Zink wird

Fig. 224.

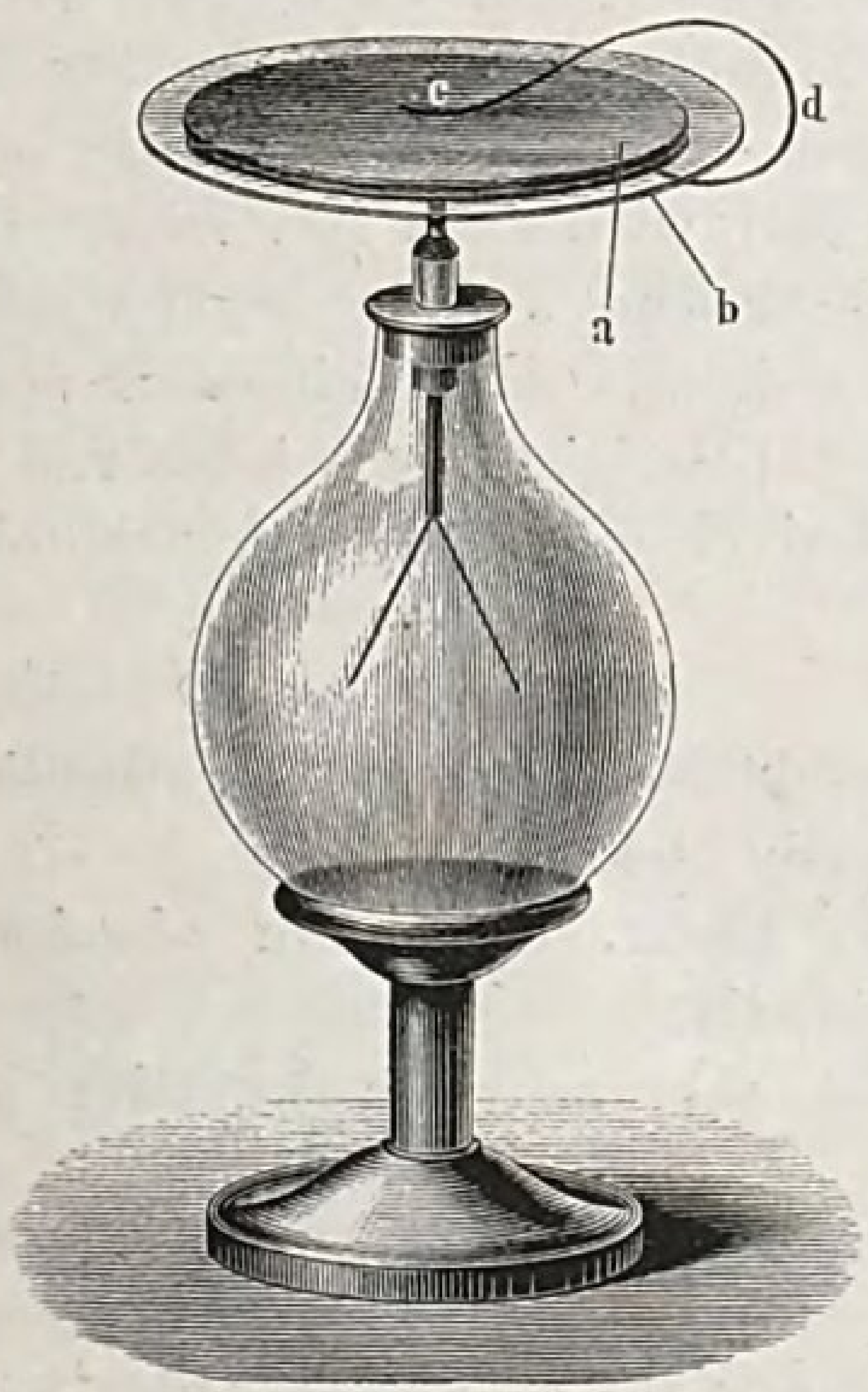
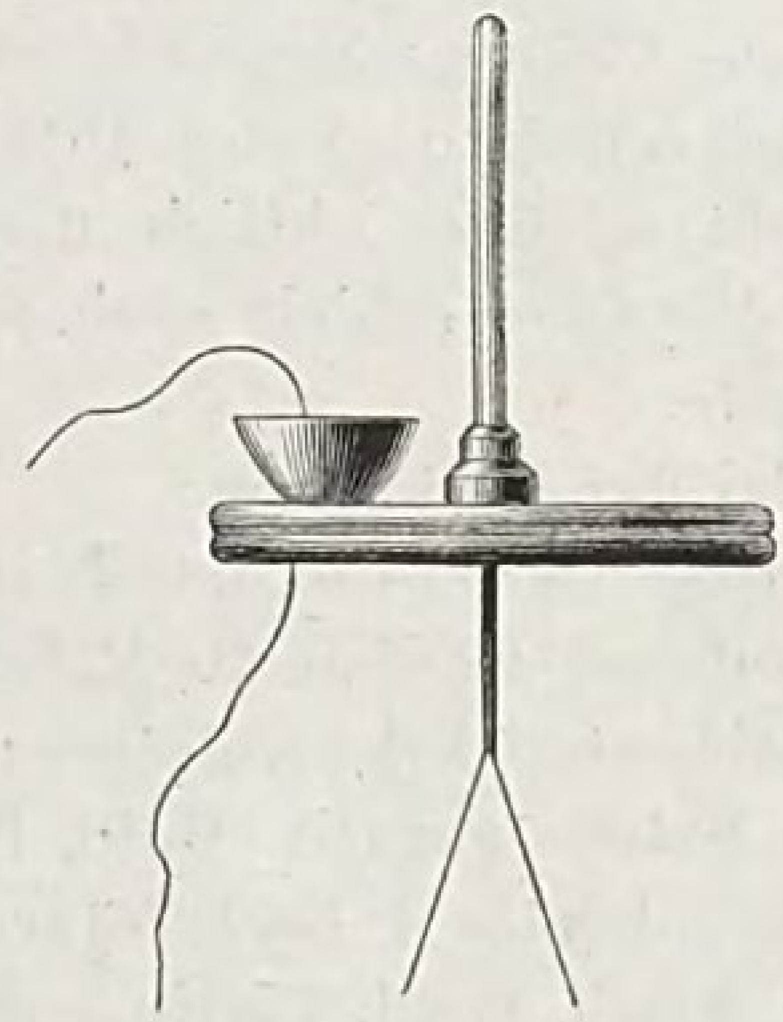


Fig. 225.



also in Berührung mit Wasser, noch mehr mit angesäuertem Wasser oder Salzlösung, negativ, die Flüssigkeit positiv elektrisch.

Dieses Experiment ist ganz einwurfsfrei und streng beweisend. Nicht dasselbe gilt von einem anderen, welches Becquerel angegeben hat. Derselbe setzte auf einen Condensator aus zwei gleichen Metallen, z. B. Kupfer, welcher auf dem Elektroskop befestigt war, ein kleines Schälchen (Fig. 225) aus demselben Metalle und füllte dasselbe mit Kalilauge. Hierauf berührte er sowohl die untere Platte als auch die Flüssigkeit ableitend mit dem Finger. Nach dem Abheben divergirten die Goldblättchen mit positiver Elektricität und Becquerel schloss daraus, dass das Kupfer in Berührung mit der Kalilauge negativ, die letztere positiv elektrisch werde. Der Versuch wäre aber nur dann beweisend, wenn feststünde, dass durch Berührung der Kupferplatte sowohl als der Kalilauge mit der feuchten Hand keine oder doch gleich grosse Erregungen entstehen.

Um andere Metalle zu untersuchen, wendete Becquerel ein Schälchen aus denselben an und berührte dann, um die elektromotorische Kraft zwischen dem Metall des Schälchens und der oberen Condensatorplatte zu compensiren, die untere Platte statt direct mit der Hand mittelst eines in der Hand gehaltenen Stabes von gleichem Metalle, wie das Schälchen. Der Einwurf gegen die Beweiskraft bleibt natürlich derselbe.

von Beetz befolgt die folgende Methode bei diesem Experimente. Die S. 234, Fig. 221, abgebildete Condensatorplatte wird, wie dort beschrieben, auf die trockene Tischplatte gestellt. Daneben wird auf die Tischplatte ein Blatt angenässtes Filtrirpapier gelegt und mit einem zweiten grösseren Blatte überdeckt, so dass dasselbe noch feucht wird. Nun wird eine am isolirenden Glasstiele gehaltene Zinkplatte auf das feuchte Papier gedrückt und dann mit dem Kügelchen der Condensatorplatte berührt. Nachdem dieser Vorgang 10 bis 15 mal wiederholt ist, wirkt die abgehobene Condensatorplatte stark abstossend auf die negativ geladene Hollundermarkkugel des Bifilarelektroskops. Auch dieses Experiment ist nicht so übersichtlich und streng beweisend, wie jenes von Buff. Dieser Physiker erhielt nach seiner Methode unter Anderen nachfolgende Resultate.

Bei der Berührung:

mit Wasser werden die Metalle negativ elektrisch, Zink stark, Platin schwach,
„ Kalilauge werden die Metalle negativ elektrisch,
„ verdünnter Schwefelsäure: Zink, Eisen, Kupfer in abnehmender Stärke negativ, Gold, Platin positiv,
„ concentrirter Salpetersäure: Zink sehr schwach negativ, Kupfer Eisen, Gold, Platin positiv,
„ Zinkvitriollösung: Zink stark, Kupfer schwach negativ, Platin positiv.

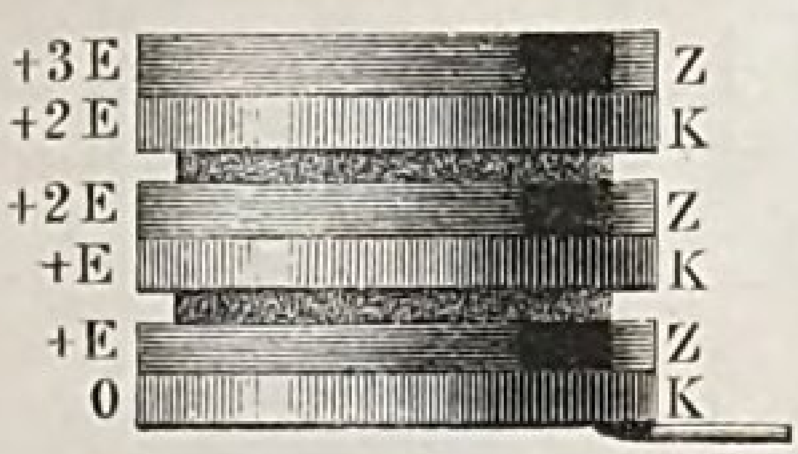
Spätere quantitative Versuche über die elektromotorische Kraft zwischen Metallen und Flüssigkeiten sind insbesondere von Pictet, Pfaff, die genauesten von Hankel und Gerland angestellt worden. Ausserdem werden auch zwischen verschiedenen sich berührenden Flüssigkeiten elektromotorische Kräfte erregt. Wir müssen bezüglich dieses Gegenstandes auf die ausführliche Darstellung in G. Wiedemann's Galvanismus verweisen. Wir heben hier nur die eine wichtige Thatsache hervor, dass die flüssigen Leiter sich nicht mit den Metallen zusammen in eine Reihe stellen lassen, welche dem Volta'schen Spannungsgesetze Folge leistet. Volta selbst war ursprünglich der irrigen Ansicht, dass die flüssigen Leiter die Elektricität von den Metallen, mit welchen sie in Berührung stehen, ableiten, ohne dass an der Benetzungsstelle eine elektromotorische Kraft auftritt. Er nannte die festen Leiter Leiter der ersten Ordnung, die flüssigen dagegen Leiter der zweiten Ordnung.

82 **Die Volta'sche Säule.** Nachdem Volta die Elektricitätserregung bei der Berührung heterogener Leiter entdeckt hatte, war er

bestrebt, die elektrische Spannung durch Combination von einzelnen Erregerpaaren zu vervielfachen. Es gelang dies schliesslich seinem Scharfsinne durch Herbeiziehung der Leiter zweiter Ordnung. Es ist nämlich sofort einzusehen, dass es ausschliesslich mit Leitern der ersten Ordnung nie möglich sein kann, die elektromotorische Wirkung von Plattenpaaren durch Vermehrung derselben zu vervielfachen. Denn denken wir uns z. B. eine Anzahl von Zink- und Kupferplatten so auf einander geschichtet, dass zu unterst eine Zinkplatte liegt, dann eine Kupferplatte folgt und so fort die Metalle wechselnd auf einander folgen, bis zuletzt eine Kupferplatte die Säule abschliesst, so wirkt eine solche Kette, wie wir im §. 80 erkannt haben, stets nur so, als ob die Endmetalle allein vorhanden wären. Alle Zwischenleiter erster Ordnung haben keinerlei Einfluss auf die Potentialdifferenz, beziehungsweise Spannungsdifferenz der Enden der Kette. Volta, von seiner Ansicht ausgehend, dass die flüssigen Leiter nur als Leiter fungiren, aber selbst keine elektromotorische Kraft beim Contact mit Metallen entwickeln, versuchte nun, die positive Elektricität jedes Kupfer-Zinkpaares durch eine mit angesäuertem Wasser getränkte Tuchscheibe dem nächsten Kupfer-Zinkpaare zuzuführen, indem er eine Kette aufbaute, die, wie Fig. 226 zeigt, von unten nach oben nach dem Schema:

Kupfer - Zink - Wasser, Kupfer - Zink - Wasser - Kupfer - Zink . . .

Fig. 226.



zusammengesetzt war. Eine solche Kette wird eine Volta'sche Säule und ihre Endstücke ihre Pole genannt.

Angenommen, das Wasser fungire wirklich nur als Leiter und die elektromotorische Kraft zwischen Zink | Kupfer sei $= + 2e$, wofür wir der Kürze wegen $+ E$ setzen wollen, so wird, wenn wir die unterste Kupferplatte mit dem Erdboden verbinden, die nächste Zinkplatte die Elektricität $+ E$ erhalten, diese wird auf das nächste Kupfer und durch dessen Berührungsfläche hindurch zum nächsten Zink übergehen. Dieses hat selbst $+ E$ erhalten, so dass also nun $+ 2E$ weiter fliessen. Jede Berührungsfläche zwischen Kupfer und Zink vermehrt die freie Elektricität um die Grösse $+ E$. Sind also im Ganzen n solche Berührungsflächen vorhanden, so ist die Spannung am oberen Ende der Säule nE. Wirklich fand Volta die Spannung von n Elementen, wie man die Combination der beiden Metallscheiben mit einer Tuchscheibe zu nennen pflegt, n mal so gross als jene Eines Elementes.

Dennoch beging Volta einen Irrthum, indem er die elektromotorische Einwirkung der Flüssigkeit übersah. Im Besitze des in dem vorigen Paragraphen Vorgetragenen können wir leicht die vervollkommnete Erklärung der Wirksamkeit der Volta'schen Säule aufstellen. Bezeichnen wir die elektrischen Differenzen Zink | Kupfer, Wasser | Zink

und Wasser | Kupfer mit $2e$, 2ε, $2\varepsilon'$, so haben wir für den elektrischen Zustand einer Säule von drei Elementen, deren unteres Ende abgeleitet ist, folgendes Schema:

$$\begin{array}{ll}
\text{Kupfer} & +2e+2\varepsilon-2\varepsilon'+2e+2\varepsilon-2\varepsilon'+2e+2\varepsilon-2\varepsilon'=3E \\
\text{Wasser} & +2e+2\varepsilon-2\varepsilon'+2e+2\varepsilon-2\varepsilon'+2e+2\varepsilon \\
\text{Zink} & +2e+2\varepsilon-2\varepsilon'+2e+2\varepsilon-2\varepsilon'+2e \\
\text{Kupfer} & +2e+2\varepsilon-2\varepsilon'+2e+2\varepsilon-2\varepsilon'=2E \\
\text{Wasser} & +2e+2\varepsilon-2\varepsilon'+2e+2\varepsilon \\
\text{Zink} & +2e+2\varepsilon-2\varepsilon'+2e \\
\text{Kupfer} & +2e+2\varepsilon-2\varepsilon'=E \\
\text{Wasser} & +2e+2\varepsilon \\
\text{Zink} & +2e \\
\text{Kupfer} & \quad 0
\end{array}$$

Wir beginnen mit dem Aufbau des Schemas von unten, indem wir bei jedem Gliede eine neue elektrische Differenz hinzufügen. Die Grösse $2e+2\varepsilon-2\varepsilon'$, das ist die Summe der Spannungsdifferenzen eines Elementes, bezeichnen wir abgekürzt mit E. Würde man die Säule am oberen Ende ableiten, so wäre am unteren Ende die Spannung $-3E$.

Für den Fall, dass die Säule allseitig isolirt ist, erhält man unschwer das folgende Schema des elektrischen Zustandes:

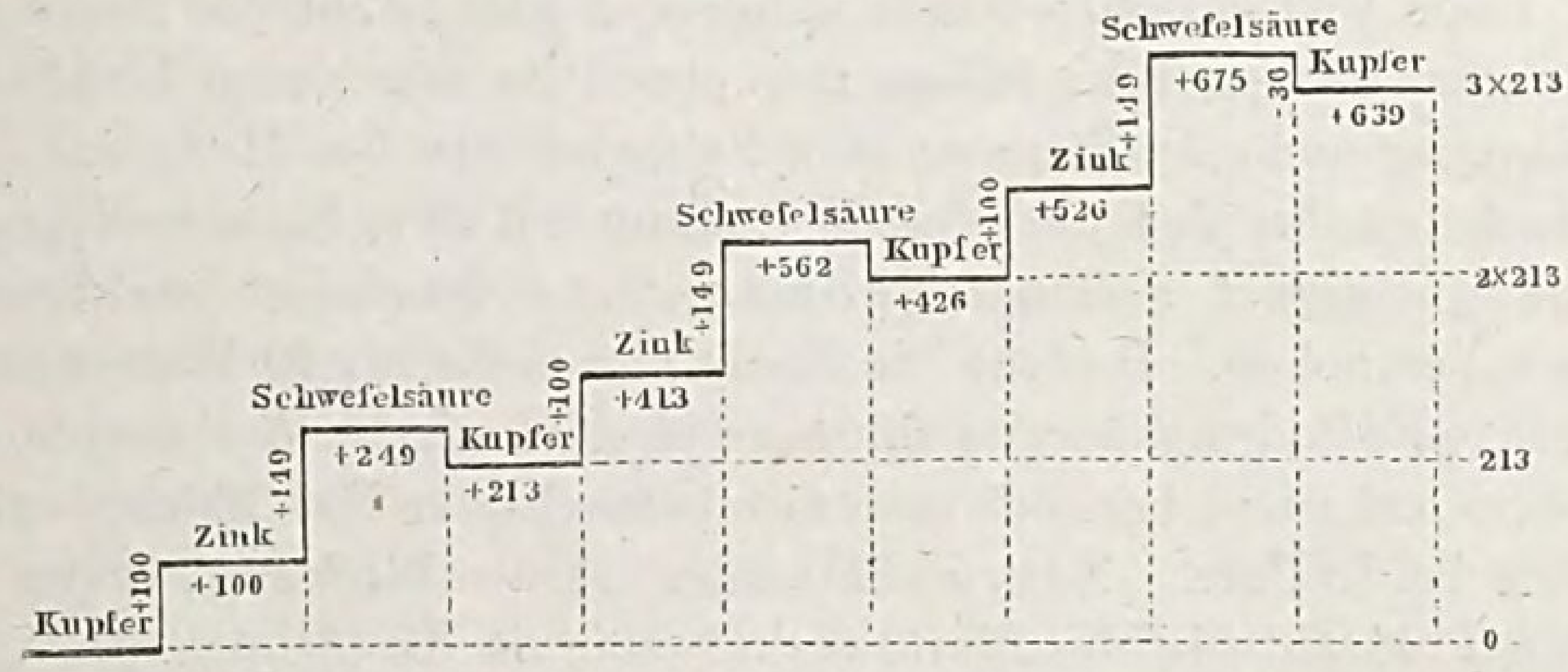
$$\begin{array}{ll}
\text{Kupfer} & +e+\varepsilon-\varepsilon'+e+\varepsilon-\varepsilon'+e+\varepsilon-\varepsilon'=3\,\frac{E}{2} \\
\text{Wasser} & +e+\varepsilon-\varepsilon'+e+\varepsilon-\varepsilon'+e+\varepsilon+\varepsilon' \\
\text{Zink} & +e+\varepsilon-\varepsilon'+e+\varepsilon-\varepsilon'+e-\varepsilon+\varepsilon' \\
\text{Kupfer} & +e+\varepsilon-\varepsilon'+e+\varepsilon-\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon'=\frac{E}{2} \\
\text{Wasser} & +e+\varepsilon-\varepsilon'+e+\varepsilon+\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon' \\
\text{Zink} & +e+\varepsilon-\varepsilon'-e+\varepsilon+\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon' \\
\text{Kupfer} & +e+\varepsilon-\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon'=-\frac{E}{2} \\
\text{Wasser} & +e+\varepsilon+\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon' \\
\text{Zink} & +e-\varepsilon+\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon' \\
\text{Kupfer} & -e-\varepsilon+\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon'-e-\varepsilon+\varepsilon'=-3\,\frac{E}{2}.
\end{array}$$

Die elektrische Differenz an beiden Enden der Säule ist auch diesmal $=3\,\frac{E}{2}-\left(-\frac{3E}{2}\right)=3E$ wie früher, die Spannung an den Enden ist aber nur halb so gross, als an dem Ende, welches dem abgeleiteten Ende der Säule gegenüber liegt. Würden wir die Säule an irgend einer Stelle zwischen den Enden ableiten, so würde sie wirken wie zwei Säulen, die mit abgeleiteten entgegengesetzten Polen zusammenstossen. Die hier gegebene Erklärung der Säule unterscheidet sich also von jener Volta's nur dadurch, dass wir unter E die algebraische

Summe aller drei elektromotorischen Kräfte zusammenfassen, während Volta nur die zwischen Zink und Kupfer als wirksam annahm.

Wenn sich nun neuestens herausstellt, dass die elektromotorische Kraft zwischen den Metallen gleich Null ist und nur zwischen Metall und Flüssigkeit eine Potentialdifferenz auftritt, so bleibt die Erklärung

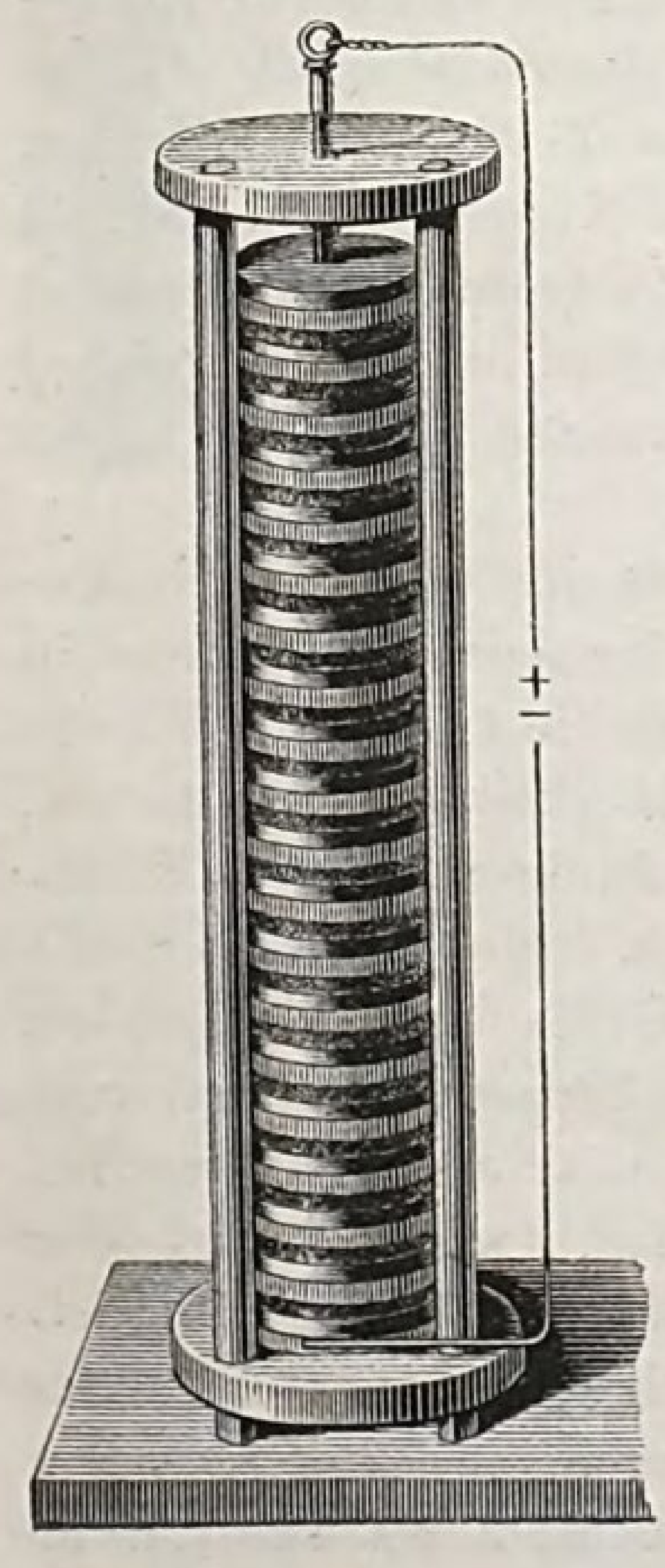
Fig. 227.



der Säule im Wesentlichen dieselbe, wenn man eben unter E die Potentialdifferenz eines ganzen Elementes der Säule versteht.

Auch hier erhalten wir eine bessere Uebersicht über die Höhe des Potentials auf den einzelnen Bestandtheilen der ganzen Kette, wenn wir die Potentialdifferenzen durch Ordinaten darstellen. Fig. 227 zeigt ein solches Schema für 3 Volta'sche Elemente, deren negativer Pol abgeleitet ist. Setzt man (im Sinne der Contacttheorie) die elektromotorische Kraft Zink | Kupfer $= + 100$, so ist jene von Schwefelsäure | Zink ungefähr $+ 149$, Kupfer | Schwefelsäure $= - 36$. Die elektromotorische Kraft eines ganzen Elementes Kupfer-Zink - Schwefelsäure - Kupfer ist also $= 100 + 149 - 36 = + 213$, die elektromotorische Kraft einer Kette von 3 Elementen $= 3 \times 213 = 639$. Aus der Fig. 227 lässt sich sofort erkennen, welche Potentialwerthe die Enden der Kette annehmen würden, wenn man irgend ein Glied der Kette ableiten würde.

Fig. 228.



Die Volta'sche Säule wurde in Bezug auf ihre äussere Form und auf die Wahl der Metalle und der Flüssigkeit mannigfach abgeändert. Ihre ursprüngliche Form ist aus Fig. 228 zu ersehen. Die Metall- und Tuchscheiben sind zwischen drei Glasstäbchen aufgeschichtet. Es ist vortheilhaft, die Kupfer- und Zinkscheiben zusammenzulöthen. Aus

früher erörterten Gründen kann das dazwischen befindliche Löthmetall keinen Einfluss haben. Da das Herabfliessen der Flüssigkeit an den Seiten der Säule störend ist, so empfiehlt es sich, die Kupferplatten mit einem aufstehenden Rande zu versehen. Später hat man die Form der Säule ganz verlassen, trotzdem aber ihren Namen auch für solche Ketten beibehalten, welche eine ganz abweichende äussere Form besitzen.

An einer Volta'schen Säule kann man nun leicht die Spannungserscheinungen nachweisen, indem man ihre Pole mit einem Elektroskop verbindet, oder auch die Säule an den Polen oder in der Mitte mit einem Probescheibchen berührt und dessen Ladung mit dem Elektroskop prüft. Besonders gut eignet sich das Thomson'sche Quadrantenelektrometer zu solchen Versuchen. Besteht die Säule aus mehr als 40 Plattenpaaren, so giebt ihre Entladung bereits fühlbare physiologische Wirkungen. Um dieselben zu erhalten, berührt man mit befeuchteten Handflächen gleichzeitig ihre beide Pole. Noch auffallender ist die Wirkung, wenn man die beiden Poldrähte in die Mundwinkel oder an die Augen führt. Die Experimente mit der geschlossenen Säule werden wir später besprechen.

Um einem Missverständniss vorzubeugen, wollen wir noch darauf aufmerksam machen, dass die Säule nicht nothwendig mit zwei Kupferplatten, wie im Schema S. 246 angenommen wurde, schliessen muss. Man lässt häufig die unterste Kupferplatte fort, wodurch die elektrische Differenz der offenen Säule allerdings um $2e$ vermindert wird. In diesem Falle ist dann der Zinkpol der negative Pol und der Kupferpol der positive Pol. Würde man dagegen die Säule nach diesem Schema unten mit der Kupferplatte, oben mit der Zinkplatte schliessen, so würde umgekehrt das Zink den positiven, das Kupfer den negativen Pol bilden. Das Zeichen des Pols hängt also nicht davon ab, mit welchem Metalle man zufällig die Säule enden lässt, sondern davon, in welcher Ordnung die Metalle und die Flüssigkeit auf einander folgen.

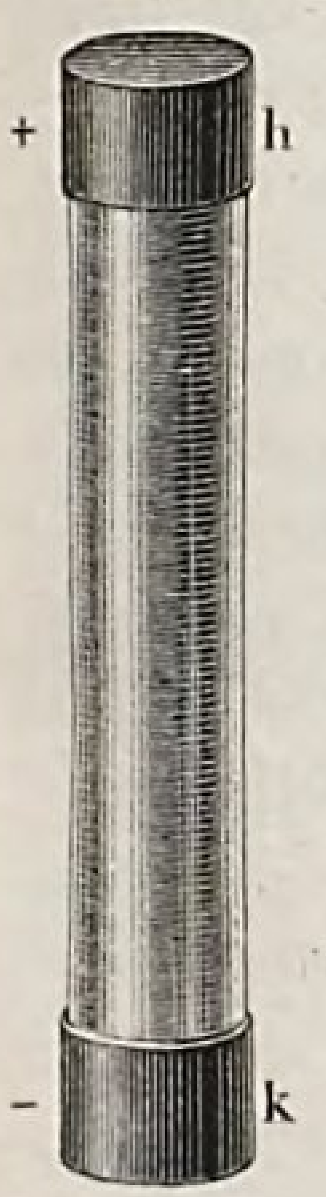
83 **Die trockene Säule.** Ganz nach dem Principe der Volta'schen hat Behrens eine Säule construirt, in welcher der feuchte Leiter durch eine Papierscheibe ersetzt ist, und welche deshalb die trockene Säule genannt wird, obwohl dieselbe stets etwas Feuchtigkeit enthalten muss, wenn sie wirksam sein soll. Häufig wird diese Säule auch nach Zamboni benannt, der sich mit ihr beschäftigt hat. Man construirt die trockenen Säulen am bequemsten aus unechtem Gold- und Silberpapier: man klebt mit Kleister einen Bogen unechten Silberpapiers (Zinn) und einen Bogen unechten Goldpapiers (Kupfer) mit den Papierseiten zusammen, so dass man ein Papierblatt hat, welches auf der einen Seite mit Kupfer, auf der anderen mit Zinn überzogen ist. Mehrere solcher Blätter werden auf einander gelegt und mittelst eines stählernen Durchschlagers Scheibchen ausgeschlagen. Diese Scheibchen haben $\frac{1}{2}$ bis 1 cm Durchmesser, wenn man kleinere, 2 bis 4 cm, wenn man grössere Säulen machen will. Diese Scheibchen werden nun in eine

wohl isolirende Glasröhre, an welche einerseits bereits eine messingene Kapsel angekittet ist, so geschichtet, dass dasselbe Metall stets nach derselben Seite gekehrt ist. Die obere Hülse *h*, Fig. 229, wird erst aufgeschraubt, wenn das ganze Röhrchen gefüllt ist. Man muss dafür sorgen, dass die Scheibchen nicht zu lose auf einander liegen, sondern, dass sie durch Aufsetzen der zweiten Kapsel möglichst stark zusammengepresst werden. Die beiden Messingkapseln bilden die beiden Pole der Säule.

Zamboni hat sehr wirksame trockene Säulen auch in der Weise construirt, dass er auf der unbelegten Seite eines Bogens von unechtem Silberpapier fein gepulverten Braunstein (Manganhyperoxyd) mittelst eines Korkstopfens einrieb. Aus solchen Blättern wurden dann die Scheiben ausgeschlagen, welche zum Aufbau der Säule dienen sollten.

Eine trockene Säule von 100 bis 200 Scheibchen bringt bereits ohne Condensator eine, wenn auch nicht bedeutende, Divergenz am Goldblattelektrometer hervor. Mit wachsender Zahl der Plattenpaare wächst die Divergenz. An den Polen einer trockenen Säule von mehreren tausend Plattenpaaren ist die elektrische Spannung stark genug, um am Strohhalmelektrometer eine mehr oder weniger bedeutende Divergenz hervorzubringen und eine sehr dünnglasige Leydener Flasche oder, noch besser, einen Glimmercondensator stark genug zu laden, um einen merklichen Schlag zu geben. Singer construirte eine trockene Säule von 20000 Paaren, welche eine dünnglasige Flasche von 350 qcm Oberfläche in 10 Minuten so stark lud, dass der Entladungsschlag einen Platindraht von 2·5 cm Länge und 0·05 mm Durchmesser schmolz, oder einen Schlag gab, welcher bis in die Achseln fühlbar war.

Fig. 229.



Die kräftigsten trockenen Säulen, selbst eine von 20000 Paaren, bringen noch keine merkliche chemische Wirkung hervor, wozu, wie wir bald sehen werden, schon eine Volta'sche Säule von wenigen Plattenpaaren ausreicht. Ueberhaupt giebt die trockene Säule zwar relativ bedeutende Spannungserscheinungen, aber die Stromeffecte fehlen ihr. Dass diese Erscheinungen bei dieser Säule fehlen, hat besonders in der unvollkommenen Leitungsfähigkeit des Papiers seinen Grund. Die elektrischen Flüssigkeiten können nur langsam die Säule bis zu den Polen durchwandern, und in Folge dieser Langsamkeit tritt ein Gleichgewichtszustand ein, den wir sogleich näher untersuchen wollen.

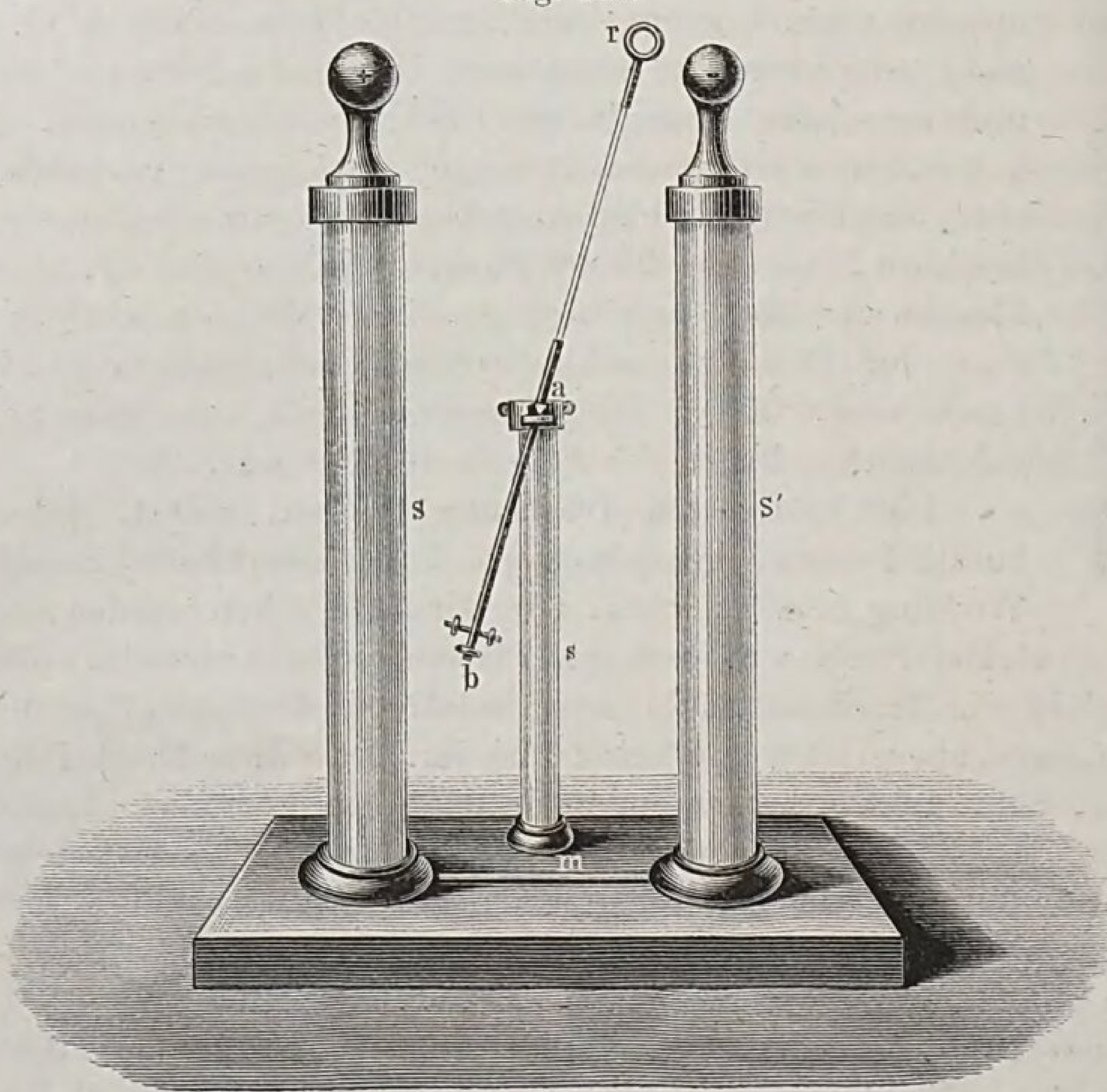
Wenn beide Pole der Säule isolirt sind, so häufen sich die entgegengesetzten Elektricitäten bald in gleichem Maasse an den Polen an; die Spannung wächst hier, bis die Elektricitätsmenge, welche jeder Pol durch die Luft in einem gegebenen Zeittheilchen verliert, gleich derjenigen Menge ist, welche in derselben Zeit dem Pole durch die Säule wieder zugeführt wird. Von diesem Augenblicke an bleibt die Spannung an den Polen constant. Wird nun die Luft feuchter, so beträgt der

elektrische Verlust an den Polen einen grösseren Bruchtheil der gesammten daselbst angehäuften Elektricität, während doch die Menge der dem Pole zugeführten Elektricität dieselbe bleibt; daraus ergiebt sich dann, dass in feuchter Luft die Spannung an den Polen geringer sein muss als in trockener Luft.

Die trockenen Säulen wendet man an, um das sogenannte elektrische *Perpetuum mobile*, Fig. 230, zu construiren. Zwei Säulen, S und S', jede etwa von 2000 Paaren, werden so neben einander gestellt, dass bei der einen der positive, bei der anderen der negative Pol unten ist; diese beiden unteren Pole werden nun durch einen Metallstreifen m in gut leitende Verbindung gebracht, während das Ganze isolirt bleibt, und dadurch erhält man ein System, welches in der That einer einzigen Säule von 4000 Paaren gleich ist, nur sind die beiden Pole dieser Säule nach oben gekehrt.

Auf einem dritten isolirenden Säulchen s ist ein sehr leichtes aus Glas und Metall hergestelltes Pendel mittelst einer Schneide auf einer

Fig. 230.

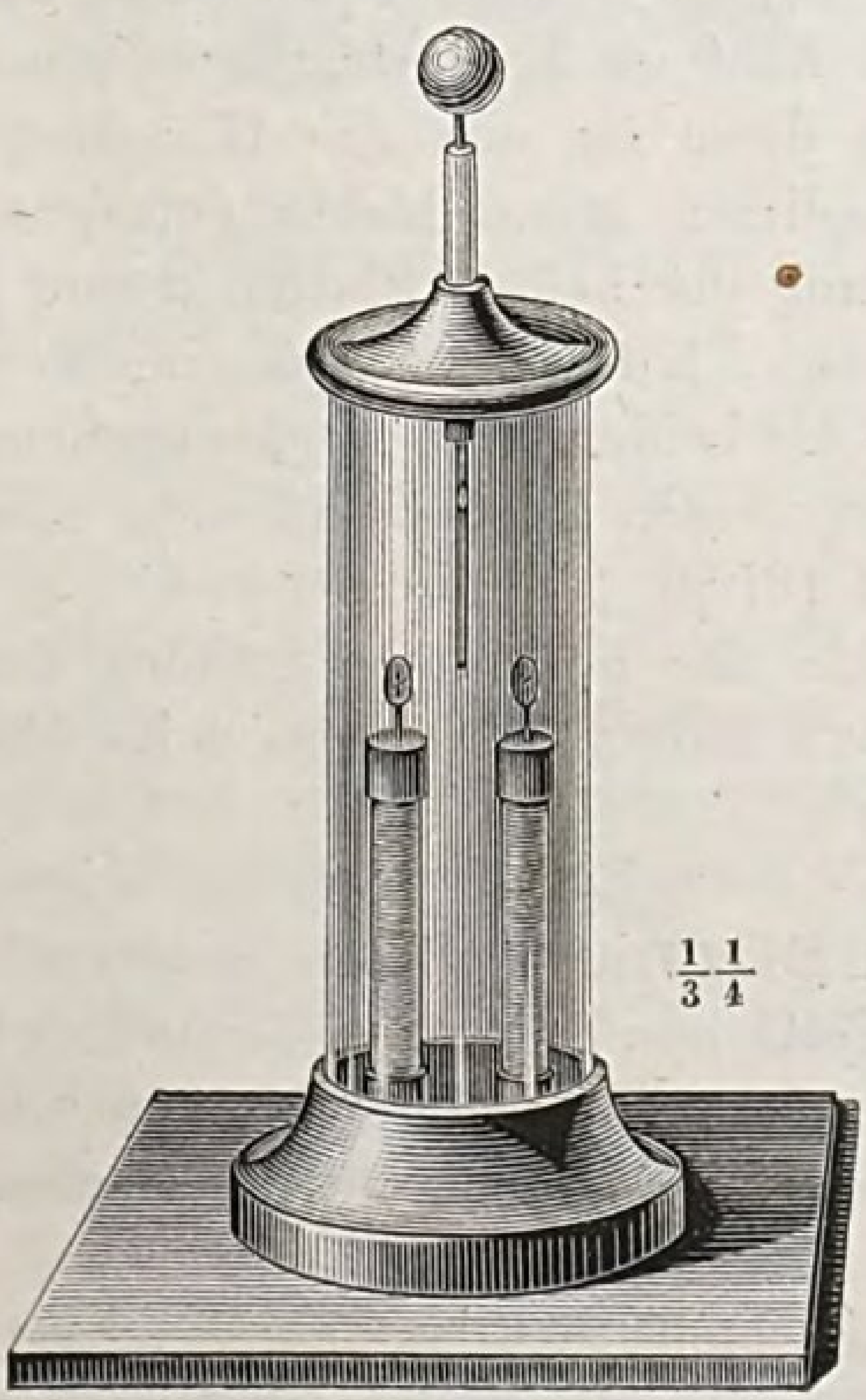


Pfanne, ähnlich wie ein Wagebalken, aufgehängt; das obere Ende desselben r trägt ein metallenes Ringelchen, das untere Ende b eine Vorrichtung, um die Lage des Schwerpunktes reguliren zu können. Man giebt dem letzteren eine Lage sehr nahe oberhalb des Aufhängpunktes, so dass das Pendel eben noch labil aufgehängt ist. In Folge dessen bleibt

es nicht in der Mitte stehen, sondern senkt sich langsam gegen eine der beiden Kugeln, welche die Pole der Säule bilden, ladet sich daselbst mit dessen Elektricität, wird abgestossen und nähert sich der andern Kugel. Dort neutralisirt sich die übergeführte Elektricität und es nimmt das Pendel entgegengesetzte auf. In Folge dessen tritt neuerdings Abstossung ein und so fort. Ein solches Pendel kann sehr lange in Gang bleiben. Im physikalischen Kabinete der Innsbrucker Universität befindet sich ein solches seit dem Jahre 1823 in Bewegung. Die Oscillationsdauer wechselt innerhalb gewisser Gränzen mit dem Feuchtigkeitszustande der Atmosphäre und deshalb ist das elektrische Pendel zum Betriebe einer Uhr nicht zu gebrauchen. Ein wirkliches *Perpetuum mobile* ist jedoch das elektrische Pendel nicht, denn die aufgewendete Energie kann nur gewonnen werden auf Kosten chemischer Energie im Innern der Säule, welche hierdurch, wenn auch erst nach langer Zeit, aber doch sicher endlich erschöpft werden muss.

Das Säulenelektrometer. Zu den wichtigsten und sinnreichsten 84
Anwendungen, die man von der trockenen Säule gemacht hat, gehört unstreitig das von Behrens erfundene Säulenelektrometer, welches in vielen Fällen, wo es sich um Nachweisung geringer elektrischer Spannungen handelt, wie z. B. beim Volta'schen Fundamentalversuche, ausgezeichnete Dienste leistet. Fig. 231 stellt das Säulenelektrometer in seiner von Bennet herrührenden Form dar. Innerhalb eines 2 bis 5 cm weiten Glasrohres befinden sich zwei kleine trockene Säulen; sie sind auf dem hölzernen Fusse befestigt, in welchen der Glascylinder eingelassen ist, und ihre unteren Enden sind durch einen Metalldraht in leitende Verbindung gebracht. Die oberen Enden der beiden Säulen, von welchen das eine ein positiver, das andere ein negativer Pol ist, sind mit kleinen Polplatten versehen. Durch den Deckel des Glascylinders geht, gehörig isolirt, ein Metalldraht herab, auf welchen oben eine Metallkugel oder eine Condensatorplatte aufgeschraubt werden kann und an dessen unterem Ende ein einfacher Streifen von Blattgold aufgeklebt ist; das untere Ende desselben hängt gerade in der Mitte zwischen den Polplatten der beiden Säulen. Es ist nun klar, dass das Goldblättchen, wenn ihm auch nur die geringste elektrische Ladung mit-

Fig. 231.

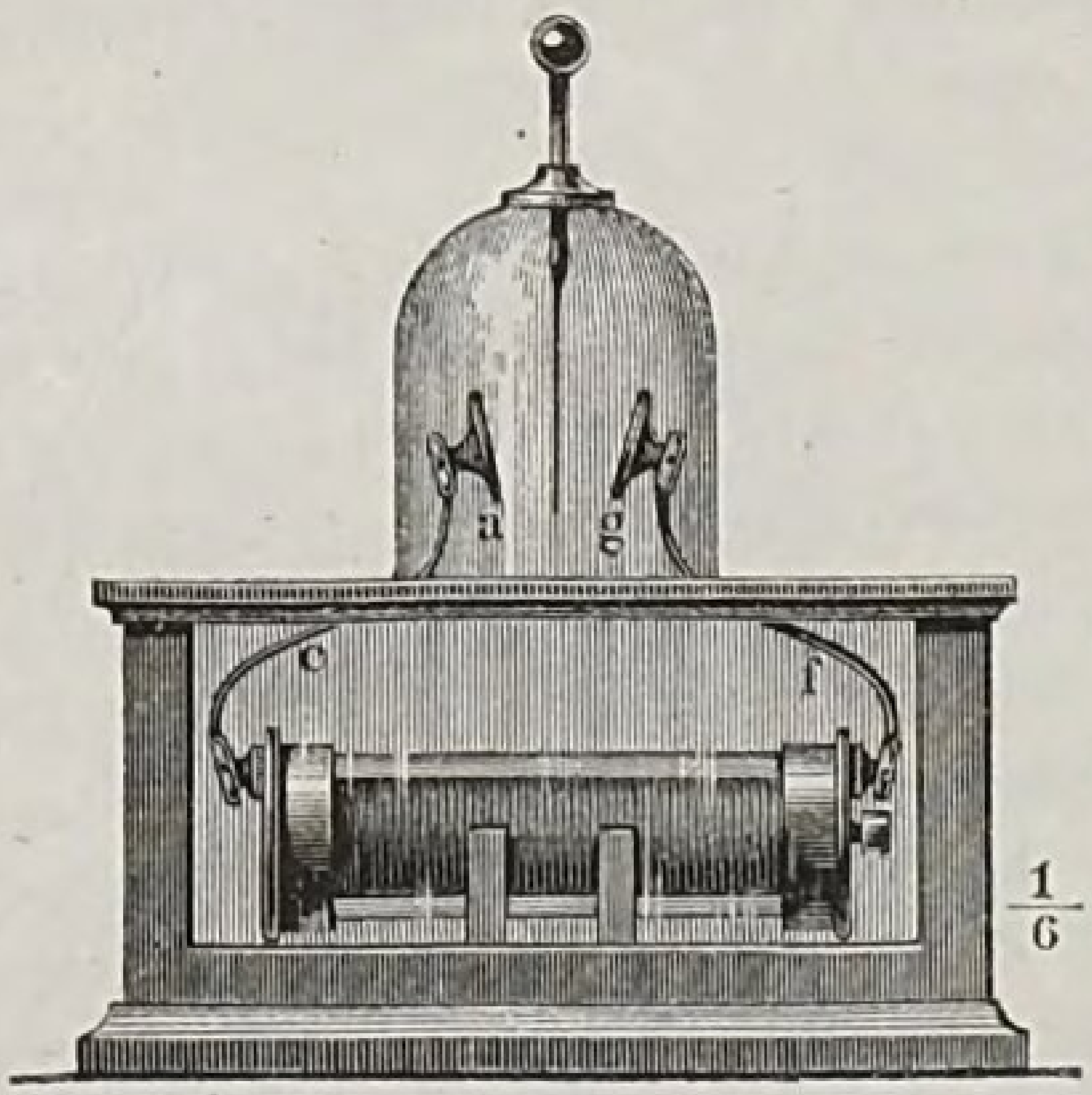


getheilt wird, nach der einen oder der anderen Seite ausschlagen muss, je nachdem die Ladung eine positive oder eine negative ist.

Bohnenberger änderte diesen Apparat in der Weise ab, dass er den Deckel des Glascylinders von Metall machte und an diesen die beiden Säulen anschraubte, so dass sie von oben in das Glasgefäss hinabragen und das untere Ende des Goldblättchens in der Mitte zwischen den unteren Polen der beiden Säulen hängt.

Statt zweier verticaler Säulen wandte Becquerel zuerst eine horizontale mit verticalen Polplatten an, zwischen welchen das Goldblättchen herabhängt. Fechner hat diesen Apparat noch sehr verbessert und ihm die Fig. 232 dargestellte Einrichtung gegeben, durch welche er höchst empfindlich und ein für die leichte und sichere Anstellung der Volta'schen Fundamentalversuche sehr werthvolles Instrument wurde.

Fig. 232.



$\frac{1}{6}$

In dem Kasten, Fig. 232, befindet sich in horizontaler Lage eine trockene Säule von 800 bis 1000 ungefähr thalergrossen Plattenpaaren, welche in einer Glasröhre luftdicht eingeschlossen sind, die an ihren Enden mit metallenen Kappen verschlossen ist. Diese Kappen stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindung und von ihnen gehen die Metalldrähte c und f aus, welche, durch einen Spalt im Deckel des Kastens hindurchgehend, mit den Polplatten a und g endigen. Ueber diese ist nun eine Glasglocke gestülpt, in welcher das von einem isolirten Metalldrahte getragene Goldblättchen herabhängt. Um die Ladung der beiden Platten a und g vor dem Versuche ganz gleich zu machen, hat Riess noch eine Vorrichtung hinzugefügt, welche gestattet, die beiden Pole vorübergehend metallisch zu verbinden. Näheres über diesen Gegenstand sehe man bei Riess, Reibungselektricität §. 14 bis 18.

Die Anwendung der trockenen Säule zur constanten Ladung des Thomson'schen Quadrantenelektrometers haben wir schon Seite 135 besprochen.

85 **Entstehung des elektrischen Stromes.** Bisher haben wir uns nur mit einer offenen Volta'schen Kette beschäftigt, es handelt sich jetzt darum, die Erscheinungen zu studiren, welche beim Verbinden der beiden Pole einer Volta'schen Kette oder eines einfachen Volta'schen Elementes auftreten.

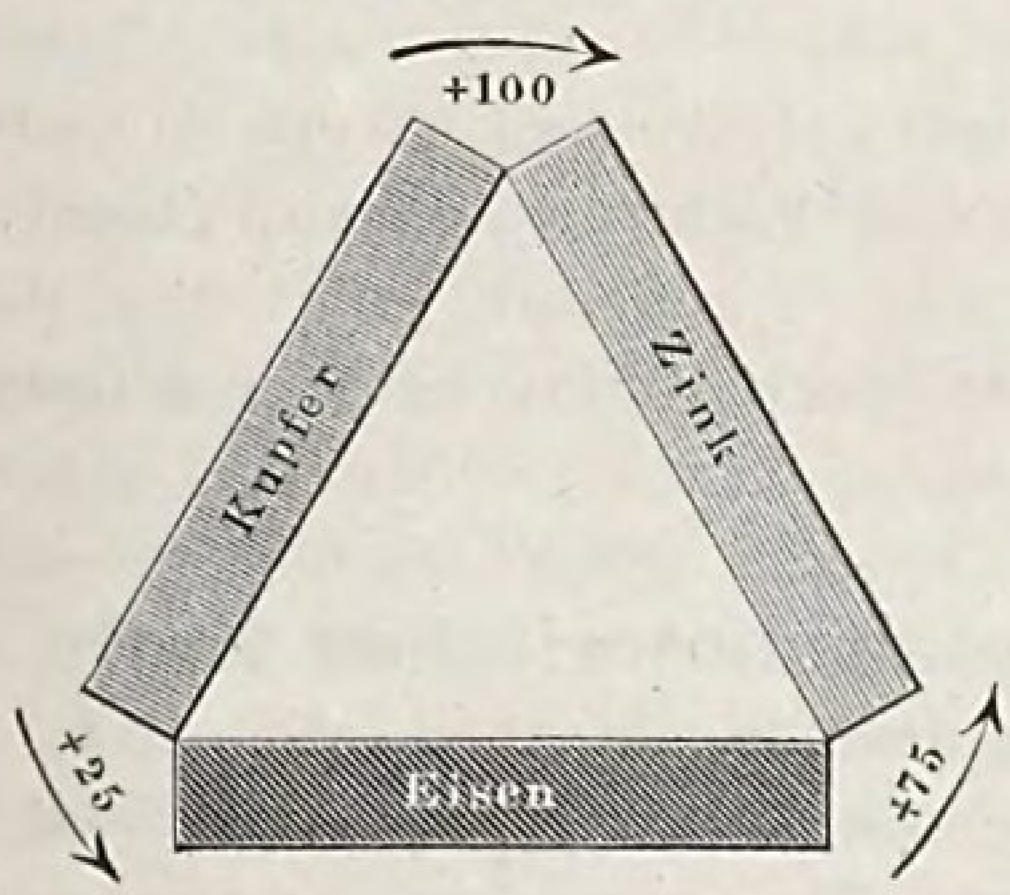
Vor Allem ist ersichtlich, dass eine solche Schliessung der Kette nur dann weitere Wirkungen hervorrufen kann, wenn zwischen den

Enden der Kette eine elektrische Differenz vorhanden ist. Da nun, wie wir gesehen haben, jede Kette, welche ausschliesslich aus festen Leitern gleicher Temperatur gebildet ist und an den Enden gleiche Metalle enthält, keine elektrische Differenz an diesen haben kann, so kann durch Schliessung einer solchen Kette auch keine Störung des Gleichgewichtes und keine Strömung der Elektricität zur Ausgleichung der elektrischen Differenz eintreten. Jede geschlossene Kette fester Leiter kann aber als eine geschlossene Kette mit gleichen Endmetallen betrachtet werden. Man beachte beispielsweise das Schema einer aus drei Metallen: Kupfer, Zink, Eisen gebildeten Kette, Fig. 233. Setzen wir (im Sinne der Contacttheorie) die relativen Mengen der in Freiheit gesetzten positiven Elektricität an den Berührungsstellen

Zink | Kupfer = 100, Zink | Eisen = 75, Eisen | Kupfer = 25,

so erhalten wir eine Strömung positiver Elektricität im Betrage 100 im Sinne des oberen Pfeils und zwei entgegengesetzt gerichtete Ströme von der Stärke 75 und 25, in Summa 100, ausgehend von den beiden Berührungsstellen des Eisens. Diese Wirkungen müssen sich offenbar aufheben, so dass gar kein Strom zu Stande kommt. Wir könnten uns auch vorstellen, eines der Metalle, z. B. das Eisen, bestehe aus zwei Stücken, dann haben wir eine Kette, die an ihren beiden Enden mit dem gleichen Metalle endigt und daher dort keine elektrische Differenz besitzt. Die Berührung der beiden Eisenstücke kann daher auch keine Strömung der Elektricität veranlassen.

Fig. 233.



Nun aber denken wir uns das Eisenstück durch ein Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure ersetzt, in welche das Zink und das Kupfer eintauchen, während sich ihre oberen Enden berühren. An der Contactstelle derselben werden 100 Einheiten positiver Elektricität nach rechts getrieben, 149 Einheiten positiver Elektricität gehen in derselben Richtung zur verdünnten Schwefelsäure und nur 36 Einheiten positiver Elektricität haben entgegengesetzte Richtung. Hier muss mit dem Ueberschuss von 100 + 149 — 36 = + 213 ein positiver Strom nach rechts zu Stande kommen. Der negative Strom hat natürlich gleiche Stärke in entgegengesetzter Richtung. Es versteht sich, dass die hier gebrauchten Zahlen nur relativ zu nehmen sind.

Leugnet man gemäss den neuen Anschauungen die elektromotorische Wirkung des Metallcontacts, so erklärt sich unmittelbar, dass durch Combination von Metallen (gleicher Temperatur) kein Strom zu erhalten ist.

Durch die Schliessung der Kette wird also das statische Gleichgewicht der Elektricität gestört und es tritt an dessen Stelle ein dynamisches Gleichgewicht zwischen der Menge von Elektricität, welche erzeugt, und jener, welche wiederum neutralisirt wird. Ein solcher galvanischer oder wie man passender sagen sollte, Volta'scher Strom unterscheidet sich nicht wesentlich von dem Strome an einer Reibungs- oder Influenzelektrisirmaschine, wenn man daselbst Reibzeug mit Conductor, beziehungsweise die beiden Conductoren mit einander verbindet.

Während aber die Elektrisirmaschine zwar Elektricität von hoher Spannung, aber in so geringer Menge liefert, dass man an ihr nur Spuren von Stromeswirkungen nachweisen kann, ist umgekehrt die Volta'sche Säule, obgleich die elektrische Spannung an ihren Polen verhältnissmässig sehr gering ist, eine sehr reiche Elektricitätsquelle, so dass man meistens die Volta'sche Säule (freilich meist in anderen Formen als in der oben beschriebenen) anwendet, wo es sich um kräftige Stromeswirkungen handelt.

Die Wirkungen des galvanischen Stromes zerfallen in zwei Hauptabtheilungen, nämlich

1) diejenigen, welche in den durchströmten Körpern selbst hervorgebracht werden (Wärme- und Lichtphänomene, chemische Zersetzungen), und

2) solche, welche ein durchströmter Leiter auf benachbarte Körper hervorbringt.

86 **Ursprung und Sitz der elektromotorischen Kraft.** Es giebt wohl kaum einen Gegenstand in der Physik, über welchen so viel gearbeitet und geschrieben wurde, wie über den Ursprung der elektromotorischen Kraft. Trotzdem ist dieses Thema noch nicht zum vollen Abschlusse gekommen und wir wollen uns daher an dieser Stelle darauf beschränken, die wichtigsten Theorien anzuführen und gegen einander abzuwägen. Diese Theorien sind: Erstens die Contacttheorie, aufgestellt durch Volta; zweitens die Chemische Theorie von De la Rive, hauptsächlich vertreten durch die Mehrzahl der französischen und englischen Physiker; drittens die Schönbein'sche Vermittlungstheorie, welche bis in die neueste Zeit die meisten Anhänger in Deutschland gezählt hat; endlich die neuere chemische Theorie von Fr. Exner in Wien.

Nach Volta's Ansicht und jener der Anhänger der reinen Contacttheorie überhaupt ist die Berührung der heterogenen Metalle, beziehungsweise der heterogenen Leiter inclusive der leitenden Flüssigkeiten die Quelle der elektromotorischen Kraft und dieselbe hat ihren Sitz an der Berührungsfläche derselben.

Bleiben wir fürs Erste bei der Berührung der Metalle allein stehen. Nach Volta würde also ein Stück Zink und ein Stück Kupfer allein durch ihre Berührung auf beliebig lange Zeit als Elektricitätsquelle auftreten können. Das isolirte Zink-Kupfer-Element würde hiernach die Rolle

einer unerschöpflichen Franklin'schen Tafel spielen. So oft man auch die freie Elektricität des Zinks und des Kupfers ableiten würde, immer soll sich dieselbe von Neuem ersetzen, ohne dass dazu Etwas verbraucht würde.

Diese Ansicht ist nun im unlösbaren Widerspruche mit dem Gesetze der Erhaltung der Energie. Denn wäre es möglich, von dem Zink-Kupfer-Element nach und nach beliebig grosse Mengen entgegengesetzter Elektricitäten ohne Aufwand anderweitiger Energie zu gewinnen, so könnten wir durch Wiedervereinigung dieser Elektricitäten auch beliebig grosse Mengen von Wärme und von Arbeit, also überhaupt von Energie erzeugen, also Energie aus Nichts hervorbringen. Das *Perpetuum mobile* wäre in der That erfunden. Bei näherer Prüfung ergiebt sich aber, dass man durch blossen Contact von Metallen weder einen dauernden Strom noch eine Aufhäufung beliebig grosser Elektricitätsmengen auf getrennten Leitern erhalten kann. Dass durch Verbindung der sich berührenden Metalle mittelst einer metallischen Leitung kein Strom zu erhalten, wurde mehrfach erläutert; die Anhäufung von Elektricität auf einem Condensator nach oftmaliger Berührung mit einer Kupfer- und einer Zinkplatte, die man zusammenlegt und wieder getrennt hatte (Versuch 5, Seite 231) ist allerdings als Anhäufung eines grösseren, beliebig zu steigernden Energievorrathes zu betrachten. Allein dabei wird auch Energie in Form von Arbeit aufgewendet. Während nämlich die nicht elektrische Kupfer- und Zinkplatte ohne Kraftaufwand in Berührung gesetzt werden können, ist die Trennung der entgegengesetzten elektrisirten Platten mit Kraftaufwand verbunden und die dabei verbrauchte Arbeit ist das Aequivalent für die Vermehrung des Potentiales, d. h. des elektrischen Energievorrathes im Condensator.

Die Berührung der Metallplatten giebt also stets nur Anlass zur Entstehung einer sehr kleinen, constanten Potentialdifferenz, die nicht ohne weiteren Aufwand von Energie beliebig vermehrt werden kann. Ebenso wenig ist durch diese Berührung ein elektrischer Strom zu erhalten.

Gehen wir nun zur Betrachtung der elektromotorischen Kraft durch Berührung mit Flüssigkeiten über. Wir ständen betreffs derselben wiederum vor dem Widerspruche mit dem Gesetze der Erhaltung der Kraft, wenn nicht nachzuweisen wäre, dass keine Flüssigkeit den Strom leitet, ohne dabei eine chemische Wirkung zu üben oder zu erleiden. Bringt jeder Strom eine der verbrauchten elektrischen Energie äquivalente chemische Energie hervor, dann ist der Widerspruch mit dem Gesetze der Erhaltung der Kraft gehoben. Wir sehen deshalb mit dem Streite zwischen der Contacttheorie und der chemischen Theorie aufs Engste zusammenhängend die andere Streitfrage, ob es möglich ist, dass eine Flüssigkeit ohne chemische Wirkung den Strom leite, oder ob sie oder auch die Metalloberflächen dabei eine chemische Aenderung

erleiden. Gäbe es eine Flüssigkeit, die nur leitet, ohne dabei chemisch verändert zu werden, so wäre es bei Annahme einer Contactwirkung wiederum möglich, Elektricität, Wärme und Arbeit in unbegränzter Menge aus Nichts zu erzeugen. Die Anhänger der chemischen Theorie verwerfen daher die Contactwirkung und betrachten demnach als Quelle und als Aequivalent der durch den elektrischen Strom gegebenen Energie den Aufwand von chemischer Energie in Folge der chemischen Wechselwirkungen zwischen den Metallen und den Flüssigkeiten. Nach der Contacttheorie ist also der Strom die Ursache der chemischen Vorgänge, nach der chemischen Theorie umgekehrt die chemische Reaction die Ursache des Stromes. Gegen die letztere Ansicht wird nun aber von den Contactanhängern geltend gemacht, dass dann stets die chemische Wirkung voraus gehen müsste und in keiner Combination von Metallen und Flüssigkeiten beim Schliessen der Kette ein Strom entstehen dürfte, wo nicht schon bei offener Kette ein chemischer Angriff stattfindet. Es giebt nun aber eine Anzahl von Combinationen von Metallen mit einer Flüssigkeit, welche keinerlei chemischen Angriff zeigen und doch im Momente des Schlusses sogleich Strom und chemische Wirkung hervorbringen. Taucht man z. B. Kupfer und Zink in neutrale Zinkvitriollösung, so werden die Metalle gar nicht angegriffen. Sobald aber die Kette geschlossen wird, beginnt sogleich mit dem Beginn des Stromes die Auflösung von Zink. Auch ist durchaus nicht immer der stärkeren chemischen Wirkung auch ein stärkerer Strom entsprechend. Vor Allem aber bleibt für die Gegner der Contacttheorie jener Fundamentalversuch (Versuch 5, Seite 231) zu erklären übrig, nach welchem bei Berührung von Kupfer und Zink allein eine, wenn auch begränzte, doch immerhin bestimmt nachweisbare Elektricitätsentwickelung stattfindet. Eine solche Entstehung von Elektricität aus Nichts, d. h. ohne äquivalenten Verbrauch, wäre nämlich auch dann im Widerspruch mit dem Gesetz der Erhaltung der Energie, wenn auch die Menge derselben noch so gering wäre.

De la Rive hat nun auch den Fundamentalversuch durch die chemische Theorie auf folgende Weise zu erklären versucht.

Alle metallischen Flächen werden stets mit einer dünnen condensirten Gas- und Feuchtigkeitsschicht umhüllt sein, welche auf dieselben ebenso elektromotorisch wirkt, wie eine Wasserschicht. Eine Zinkplatte wird dadurch negativ elektrisch erregt, während die condensirte Flüssigkeitsschicht ebenso stark positiv elektrisch wird. Nach aussen hin kann diese elektrische Vertheilung direct nicht wahrgenommen werden, weil die erregten entgegengesetzten Elektricitäten unmittelbar neben einander gebunden sind.

Setzt man eine solche elektrisch erregte Zinkplatte auf eine Kupferplatte, so berühren sich die Platten, wie gut sie auch abgeschliffen sein mögen, doch nur in einzelnen Punkten, so dass die condensirte Gas- und Feuchtigkeitsschicht die Platten bis auf die wenigen Berührungspunkte trennt.

Da die Kupferplatte durch ihre Feuchtigkeitsschicht weit schwächer negativ erregt wird als die Zinkplatte, so tritt ein Theil der negativen Elektricität an den Berührungspunkten direct auf die Kupferplatte über und wenn nun die Zinkplatte abgehoben wird, so erweist sich die Kupferplatte negativ elektrisch, während die Zinkplatte mit ihrer Gasschicht die in letzterer befindliche, jetzt zum Theil freigewordene positive Elektricität bewahrt.

Ist diese Erklärung richtig, so dürfen heterogene Metalle im Vacuo bei der Berührung keine Elektricität entwickeln. Dies wurde nun auch von De la Rive behauptet, aber von Pfaff, Fechner u. A. in Abrede gestellt. Da sich gegen De la Rive's Erklärungsweise noch andere Schwierigkeiten erhoben, so fand dieselbe keine allgemeine Annahme; dagegen wendeten sich viele Physiker der vermittelnden Theorie von Schönbein zu.

Nach Schönbein geht, wie auch die Contacttheorie annimmt, der Strombildung und der damit verbundenen chemischen Action ein elektrischer Spannungszustand voraus. Als Sitz der elektromotorischen Kraft wird von ihm aber nicht der Metallcontact, sondern die Berührungsfläche der Metalle mit der Flüssigkeit angesehen. Die Ursache der elektromotorischen Kraft ist nach ihm die ungleiche chemische Affinität der Elemente der Flüssigkeit zu den beiden Metallen.

Da Schönbeins Theorie nur die Wirksamkeit der nassen Ketten, nicht aber den Volta'schen Fundamentalversuch zu erklären vermag, so wollen wir dieselbe hier nicht weiter ausführen.

Nach Fr. Exner (Wien. Akad. Ber. LXXXI) ist der Volta'sche Fundamentalversuch ohne Annahme einer Contactwirkung folgendermaassen zu erklären:

Alle oxydirbaren Metalle überziehen sich an der Luft in kürzester Zeit mit einer dünnen Oxydschichte. Bei dieser Oxydation wird Verbrennungswärme erzeugt, ausserdem ein gewisses Quantum positiver und negativer Elektricität. Diese beiden Effecte zusammen sind äquivalent der verbrauchten chemischen Energie. Die erzeugte positive Elektricität geht auf das Oxyd über, die negative auf das Metall; diese Ladungen entsprechen den Potentialen $+ E$ und $- E$. Da die Oxydschichte ein ausgezeichneter Isolator ist, so haftet die Elektricität fest an derselben und es ist weder eine Neuvertheilung, noch eine Ableitung derselben möglich. Die negative Elektricität des Metalles wird, wenigstens zum grossen Theile, an der Trennungsfläche gebunden, zum Theil über das ganze Metall verbreitet sein. Eine Wirkung nach Aussen, wenigstens auf Leiter, welche verhältnissmässig grossen Abstand haben, kann dann nicht eintreten, da sich die Wirkungen der entgegengesetzten Elektricitäten gegenseitig aufheben. Bringt man aber das Metall mit der Erde in leitende Verbindung, so nimmt es das Potential Null an, wenngleich seine negative Ladung nach wie vor zum grössten Theile gebunden bleibt. Auf einen in der Nähe befindlichen Leiter wird das

System aber jetzt wirken, wie eine Metallplatte vom Potential $+ E$, da nämlich jetzt das Potential in der Oxydschicht zur Wirkung gelangt. Ist der Oxydationsprocess einmal vollendet, was in der Regel der Fall sein wird, und war die Platte schon einmal zur Erde abgeleitet, so bleibt der eben beschriebene elektrische Zustand stationär, so lange man nicht das Metall auf ein anderes Potentialniveau bringt. Die Dichte der Elektricität auf und in der Oxydschichte ändert sich aber in keinem Falle da diese als vollkommener Isolator gilt.

Betrachten wir nun den Fall, dass man einer oxydirten und isolirten Zinkplatte eine isolirte (nicht oxydirte) Platinplatte nähert. Beide Platten seien vorher abgeleitet gewesen. Das Platin erhält nun durch Influenz ein positives Potential, das Zink ein negatives, denn es wird im Platin negative Elektricität gebunden und positive frei; im Zink dagegen wird ein gleicher Betrag der vorher von der positiven Oxydschicht gebundenen negativen Elektricität frei. Verbindet man beide Metalle durch einen Draht, so gleichen sich diese freien Elektricitäten aus und beide Platten sind wieder auf dem Potentiale Null. Während der Condensator geschlossen ist, existirt also nur an der Gränze von Zink und Zinkoxyd eine Potentialdifferenz, die beiden Metalle aber befinden sich auf dem Potential der Erde, weshalb es auch gleichgiltig ist, ob der Schliessungsdraht isolirt oder abgeleitet ist. Unterbricht man nun die Schliessung und entfernt beide Platten von einander, so erhält nun das Platin eine Ladung freier negativer Elektricität. Das Zink dagegen enthält weniger negative Elektricität als im neutralen Zustande von der Oxydschicht gebunden wird und erscheint daher in gleichem Grade positiv, wie das Zink negativ.

Bestehen beide Platten aus oxydirbaren Metallen, so dass dem einen Oxyde das Potential $+ E$, dem anderen $+ e$ zukommt, so entspricht die Ladung des Condensators der Differenz $E - e$.

Exner's Theorie setzt also voraus, dass thatsächlich bei blosser Annäherung ohne wirkliche Berührung verschiedener Metallplatten eine elektrische Vertheilung eintrete. Mittelst des Thomson'schen Quadrantenelektrometers ist es Exner in der That gelungen, diese Thatsache zu bestätigen und ausserdem durch eine Reihe von Experimenten den Nachweis zu liefern, dass der Contact zwischen den Metallen selbst keine Potentialdifferenz hervorzubringen vermag. Auf den von Exner nachgewiesenen Zusammenhang zwischen Potentialdifferenz und Verbrennungswärme kommen wir später zu sprechen.

Der Ursprung der elektromotorischen Kraft ist also sowohl in den nassen Ketten als auch beim Volta'schen Fundamentalversuch in einem gleichzeitigen oder vorausgegangenen Aufwande von chemischer Energie zu suchen und der Sitz dieser Kraft ist an jener Stelle, wo sich die chemischen Vorgänge abspielen.

(Näheres über den Streit zwischen chemischer und Contacttheorie findet man insbesondere in Wiedemann's Galvanismus, Bd. I, S. 781 bis 799, wo auch die einschlägige Literatur aufgeführt ist.)

Verschiedene Formen der Volta'schen Kette. Die §. 82 87
besprochene Volta'sche Säule war der erste hydroelektrische Rheomotor; allein diese Form bietet mannigfache Missstände. Die unteren Scheiben nämlich sind durch das Gewicht der oberen stärker zusammengedrückt; die feuchten Scheiben werden dadurch ausgepresst, sie werden trocken, während die Flüssigkeit an der Seite der Säule herunterrinnt; dadurch wird aber eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren hervorgebracht, welche den Totaleffect schwächt.

Diesen Uebelstand suchte Cruikshank durch den Trogapparat, Fig. 234 und Fig. 235, zu vermeiden. Die einzelnen Elemente desselben bestehen aus rechtwinkligen Platten von Kupfer und Zink, welche auf einander gelöthet sind. Diese Plattenpaare sind einander parallel in einem Kasten von Holz, dessen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzschicht überzogen sind, so befestigt, dass der Zwischenraum zwischen je zwei Plattenpaaren eine Zelle, einen Trog bildet, der mit gesäuertem Wasser gefüllt wird. Diese Wasserschicht, welche ungefähr 6 mm dick ist, vertritt hier die Stelle der feuchten Scheibe.

Bei Volta's Becherapparat, von ihm Corona di tazze genannt, befindet sich die Flüssigkeit in getrennten Gefässen oder Gläsern, die zu

Fig. 234.

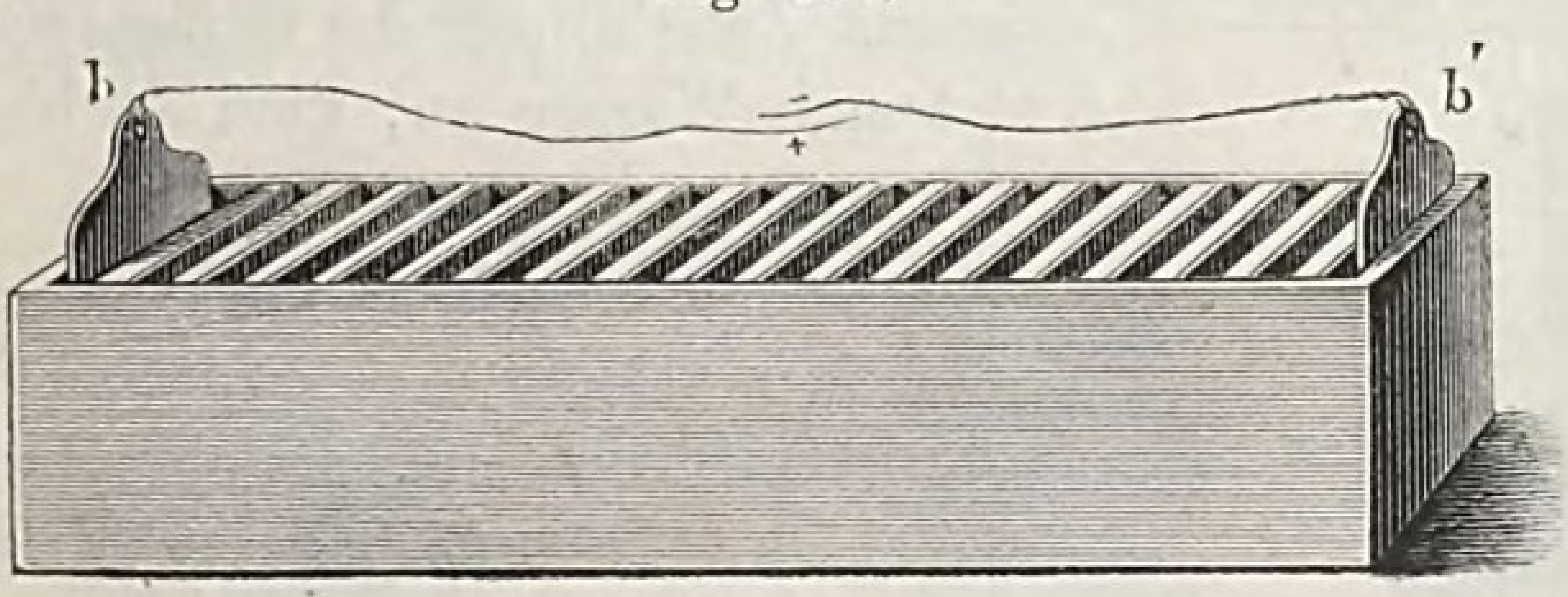
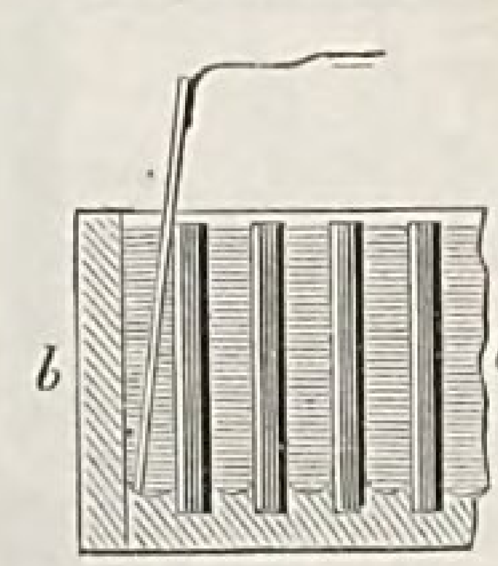


Fig. 235.



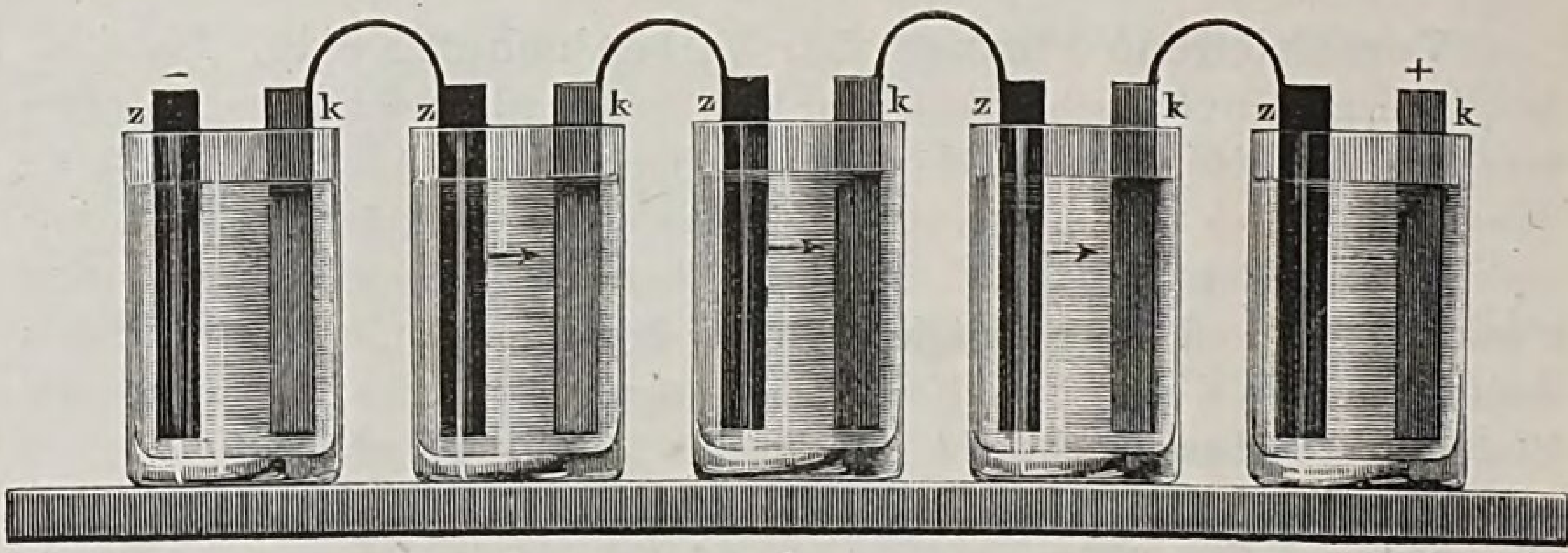
einem Kreise oder in gerader Linie zusammengestellt sind. Jedes Glas enthält eine Zink- und eine Kupferplatte, die sich aber nicht berühren; jede Zinkplatte ist durch einen Kupferdraht oder Kupferstreifen mit der Kupferplatte des vorhergehenden Glases verbunden, wie dies durch das Schema Fig. 236 (a. f. S.) angedeutet ist, wo die Kupferplatten mit k, die Zinkplatten mit z bezeichnet sind. In jedem einzelnen Becher geht der positive Strom von der Zinkplatte durch die Flüssigkeit zur gegenüberstehenden Kupferplatte.

Jeder einzelne Becher mit seiner erregenden Flüssigkeit und den beiden in dieselbe eingetauchten Metallplatten wird ein galvanisches Element genannt.

Man hat die Form dieser Apparate durch Veränderung der Plattenform auf das Mannigfaltigste abgeändert; so ist z. B. in der Wollaston'schen Kette, von welcher in Fig. 237 (a. f. S.) ein Plattenpaar ab-

gebildet ist, die Kupferplatte so um die Zinkplatte herumgebogen, dass jeder Seite der Zinkplatte eine Kupferfläche gegenübersteht. Die Zink-

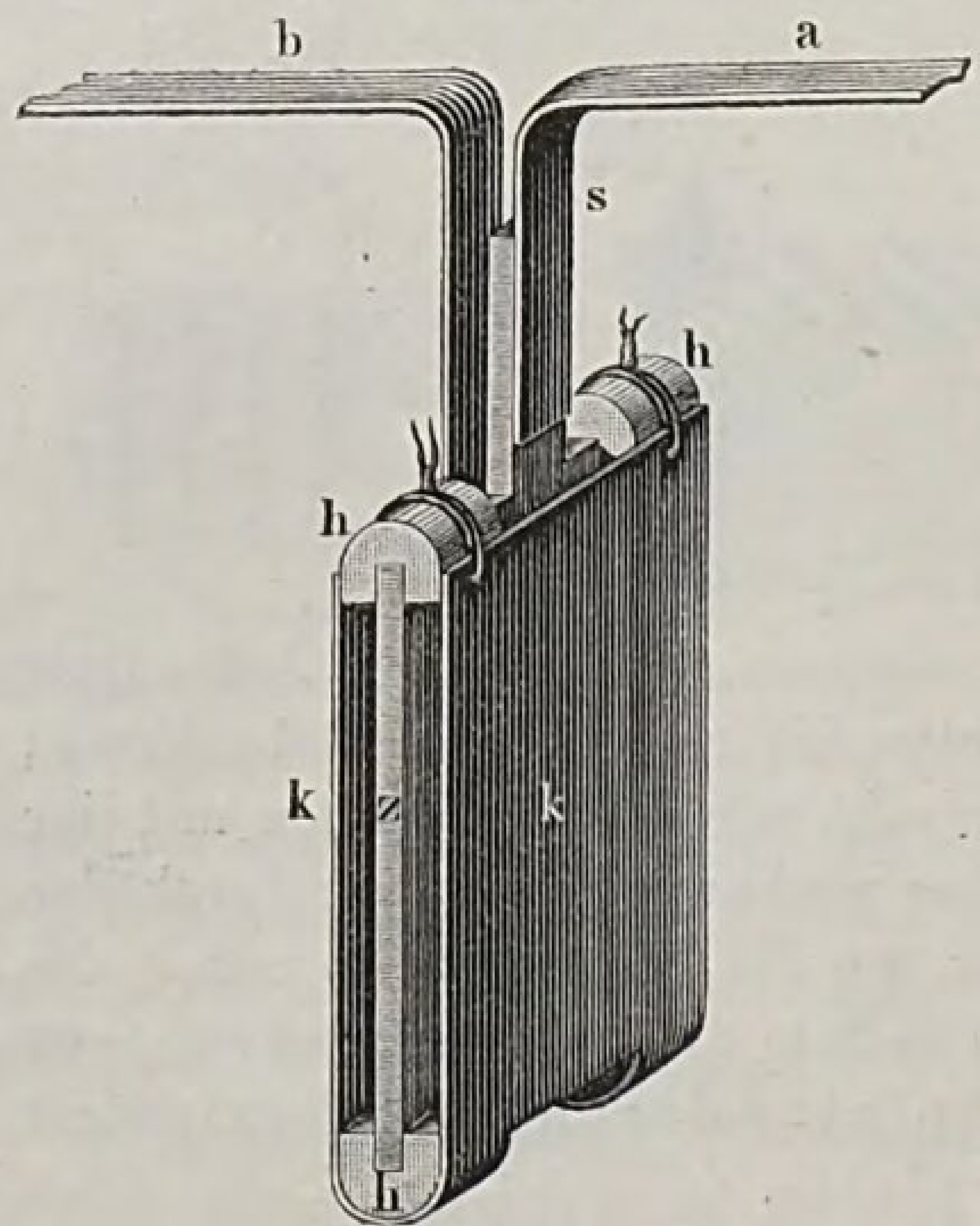
Fig. 236.



platte z ist durch Holzstückchen vor leitender Berührung mit der Kupferplatte k geschützt. Von der Kupferplatte k führt ein Kupferstreifen b zur Zinkplatte des vorhergehenden Plattenpaares. Wird ein solches Plattenpaar in die Säure eingetaucht für sich allein gebraucht, so bilden a und b die beiden Pole.

Fig. 238 zeigt die Wollaston'sche Batterie von fünf Plattenpaaren. Sämmtliche Plattenpaare sind an einer Holzleiste befestigt, so dass man sie gleichzeitig in die Flüssigkeit eintauchen und wieder herausnehmen kann. Zur Füllung der Gefässe wendet man Wasser an, dem $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{20}$ Schwefelsäure zugesetzt ist.

Fig. 237.



Statt der einzelnen Gläser wendet man auch Tröge von gebranntem und glasirtem Thon an, welche durch Scheidewände in einzelne Zellen getheilt sind, so dass immer ein Plattenpaar in eine Zelle kommt.

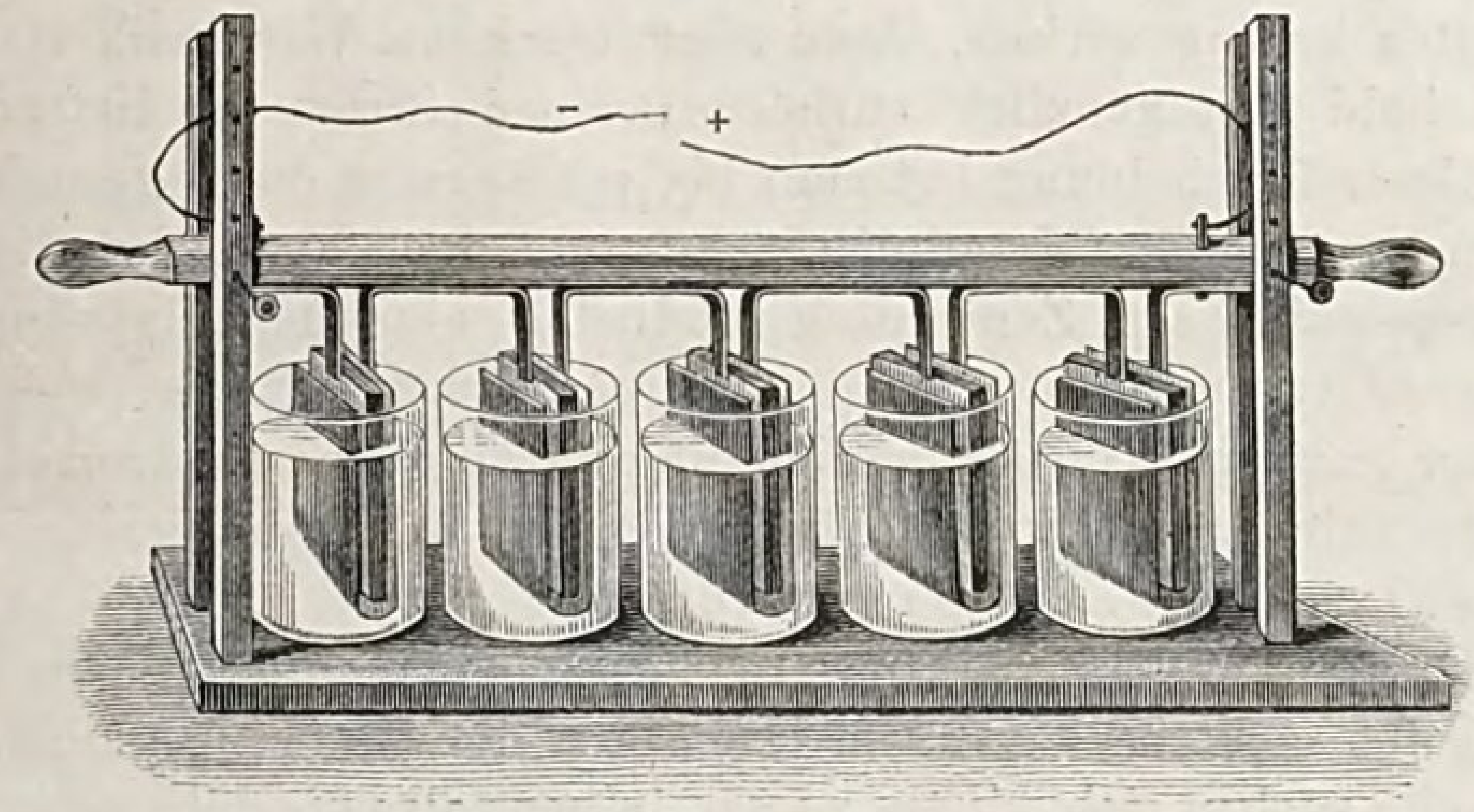
Diese Absonderung ist übrigens nicht absolut nöthig, die Säule ist auch noch wirksam, wenn man sämmtliche Plattenpaare in ein Gefäss ohne alle Abtheilungen eintaucht. Allerdings geht hier ein Theil des Effects durch Nebenschliessung verloren, dieser Verlust ist aber um so geringer, je kleiner die Anzahl der Plattenpaare ist.

Ganz in ähnlicher Weise, wie die Wollaston'sche Batterie, ist auch die Smee'sche aus Zink und platinirtem Silber construirt; nur ist die Silberplatte auf beiden Seiten vom Zink umgeben, wie es auch bei

der Platinplatte der Grove'schen Batterie der Fall ist, die wir bald werden kennen lernen.

Wo man getrennte Gläser anwendet, um die einzelnen Plattenpaare hineinzutauchen, da ist es der Raumersparniss wegen vortheilhaft, den

Fig. 238.

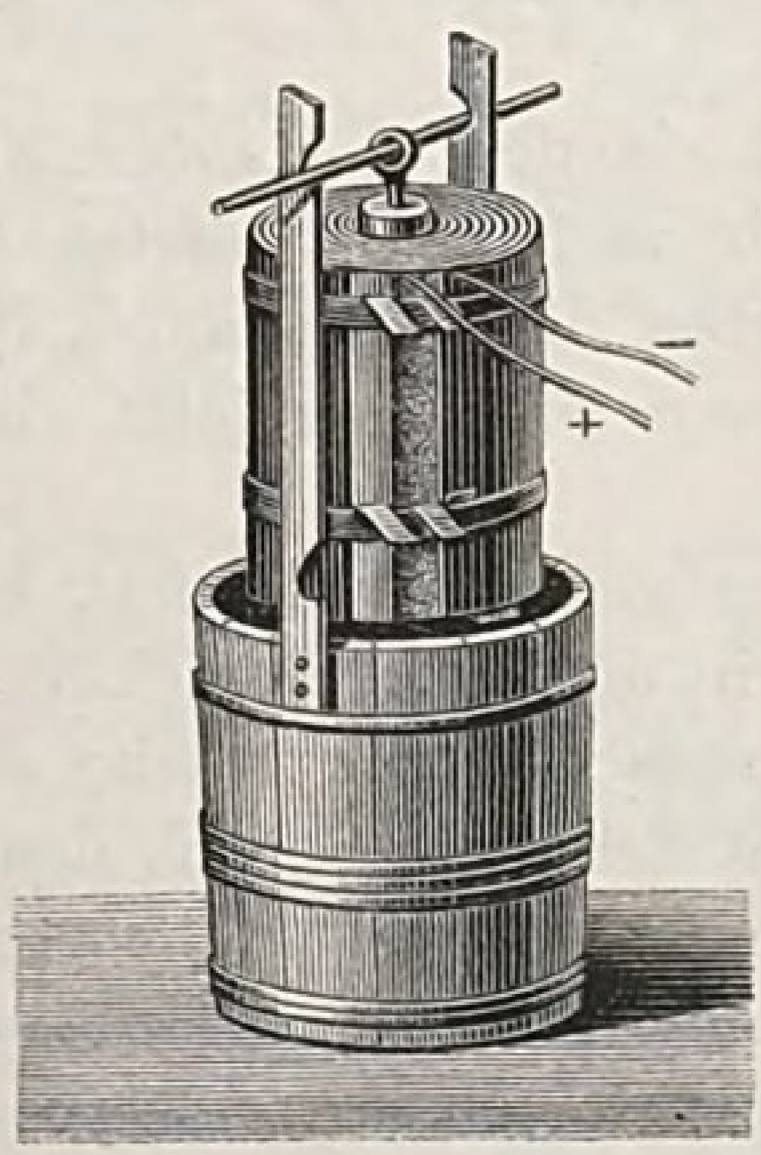


Metallplatten die Form eines hohlen Cylinders zu geben, wie Fig. 239 zeigt, wo *k* den Kupfercylinder, *z* einen engeren concentrisch hineingestellten Zinkcylinder darstellt, wie sie in ein und dasselbe Glasgefäss eingestellt werden. Es versteht sich von selbst, dass der Zinkcylinder mit dem Kupfercylinder desselben Gefässes nicht in metallischer Berührung steht. Jeder Kupfercylinder ist durch einen Kupferdraht oder einen Streifen von Kupferblech mit dem Zinkcylinder des folgenden Paares verbunden. — Dies ist die Grundform der meisten neueren Rheomotoren.

Fig. 239.



Fig. 240.



Wenn es auf eine sehr grosse Oberfläche der Metallplatten ankam, wandte man früher Hare's Calorimotor an, welcher Fig. 240 dargestellt ist. Auf einem Holzcylinder, welcher etwa 8 cm im Durchmesser hat und 0·3 bis 0·5 m hoch ist, sind zwei Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer, gleichsam aufgewickelt, welche durch Tuchstreifen von einander getrennt sind. Man erhält auf diese Weise ein Plattenpaar von 5 bis 6 qm Oberfläche. Der Name Calorimotor rührt

daher, weil dieser Apparat besonders geeignet ist, kurze Metalldrähte glühend zu machen und zu schmelzen.

88 **Die constanten Ketten im Allgemeinen.** Die bisher beschriebenen Formen der Volta'schen Kette haben das Missliche, dass sie nur einige Zeit nach dem Eintauchen der Metalle in die sauren Flüssigkeiten kräftig wirken, dann aber rasch an Wirksamkeit abnehmen und bald fast gänzlich aufhören, einen Strom zu liefern. Die Ursache dieser Erscheinung hat man bis vor Kurzem darin gesucht, dass durch den Contact der Metalloberflächen mit den durch den Strom an ihnen ausgeschiedenen Zersetzungsproducten eine der ursprünglichen entgegengesetzt gerichtete elektromotorische Kraft auftrete, welche immer stärker anwächst, bis sie endlich die ursprüngliche elektromotorische Kraft compensirt hat. Diese Veränderung der Metalloberflächen nannte man die galvanische Polarisation.

Fr. Exner hat kürzlich diese Erklärung durch eine andere ersetzt. Die durch den elektrischen Strom innerhalb der Kette ausgeschiedenen Bestandtheile suchen sich wieder zu vereinigen, also die entgegengesetzte chemische Reaction zu derjenigen hervorzubringen, durch welche der Strom erzeugt wurde. Die Folge dieser entgegengesetzten Reaction ist daher auch ein entgegengesetzter Strom, der den ursprünglichen theilweise oder endlich ganz compensirt. Nach der neuen Erklärung wie nach der früheren ist also die sogenannte galvanische Polarisation durch die Zersetzungsproducte der Flüssigkeit hervorgerufen; nach der früheren Ansicht wirken dieselben aber durch blossen Contact, nach der neueren durch ihre chemische Einwirkung. Es ist klar, dass mit dem Aufgeben der Contacttheorie auch diese ältere Polarisationstheorie verlassen werden muss.

Die vollständige Theorie der constanten Ketten können wir erst dann vortragen, wenn wir vorher die Gesetze der Elektrolyse kennen gelernt haben. Da wir aber diese constanten Ketten von jetzt an oft anwenden wollen, so müssen wir schon jetzt eine Beschreibung derselben vorausschicken.

Die constanten Ketten gründen sich fast sämmtlich darauf, dass die beiden Metalle nicht in dieselbe Flüssigkeit, sondern in zwei verschiedene Flüssigkeiten getaucht sind, welche selbst durch eine poröse Scheidewand oder mittelst Schichtung nach dem specifischen Gewichte verhindert werden, sich zu mischen. Als poröse Scheidewand, welche den Strom hindurchlassen muss, wurde ursprünglich eine thierische Blase angewendet, welche später durch hohle poröse Thoncylinder ersetzt wurde, die unter dem Namen Thonzellen bekannt sind.

Als elektropositives Metall wird fast immer amalgamirtes Zink angewendet.

Gewöhnliches käufliches Zink wird in verdünnter Schwefelsäure heftig angegriffen und aufgelöst. Wenn man also solches Zink zur Construc-

tion einer Säule anwendet, so findet eine lebhafte Gasentwickelung in allen Zellen statt, ehe man noch die Kette geschlossen hat, es wird also schon Wasser zersetzt und Zink aufgelöst, ohne dass ein Strom durch den Apparat hindurchgeht. Diese von der Strombildung völlig unabhängige Wasserzersetzung und Zinkconsumtion wird mit dem Namen der localen Wirkung bezeichnet. Wird eine solche Säule geschlossen, so kommt zu der localen Wirkung noch die chemische Wirkung hinzu, welche zur Stromleitung erforderlich ist.

Diese locale Wirkung wird nun dadurch bedeutend vermindert oder selbst ganz aufgehoben, dass man die Zinkplatten amalgamirt, d. h. dadurch, dass man sie mit einer Schicht von Quecksilber überzieht, was dadurch bewerkstelligt wird, dass man die Oberfläche der Platte durch Eintauchen in verdünnte Schwefelsäure von ihrer Oxydschicht befreit und sie dann rasch in Quecksilber eintaucht oder eine entsprechende Quantität Quecksilber mit einem Lappen auf derselben einreibt, wodurch die Zinkplatte ein silberglänzendes Ansehen erhält. Eine gute Amalgamation der Zinkplatten ist für alle constanten Batterien unerlässlich, wenn nicht eine enorme Zinkconsumtion stattfinden und in Folge der bedeutenden Bildung des schlecht leitenden Zinkvitriols eine rasche Abnahme der Stromstärke erfolgen soll.

Um das Gesagte durch einen Vorlesungsversuch zu illustriren, taucht man in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Glasgefäss einmal einen Streifen nicht amalgamirten käuflichen Zinks, dann einen solchen amalgamirten. Bei jenem tritt starke Gasentwickelung ein, bei diesem ist sie wenig merklich. Verbindet man den Zinkstreifen ausserhalb der Flüssigkeit mit einem miteingetauchten Kupferstreifen, so wird bei Anwendung käuflichen Zinks an beiden Platten Wasserstoff entwickelt, bei amalgamirtem Zink jedoch nur an der Kupferplatte, was eben unter diesen Umständen die unvermeidliche Wirkung des Stromes ist. Bei den nun zu beschreibenden constanten Ketten wird die Wasserstoffentwickelung auf verschiedene Weise vermieden.

Die Daniell'sche Kette. Die älteste constante Kette ist die 89
Daniell'sche Kette. Das amalgamirte Zink taucht in verdünnte Schwefelsäure oder in Zinkvitriollösung, als negatives Metall dient Kupfer, welches in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol taucht. Die beiden Flüssigkeiten sind durch eine Thonzelle getrennt.

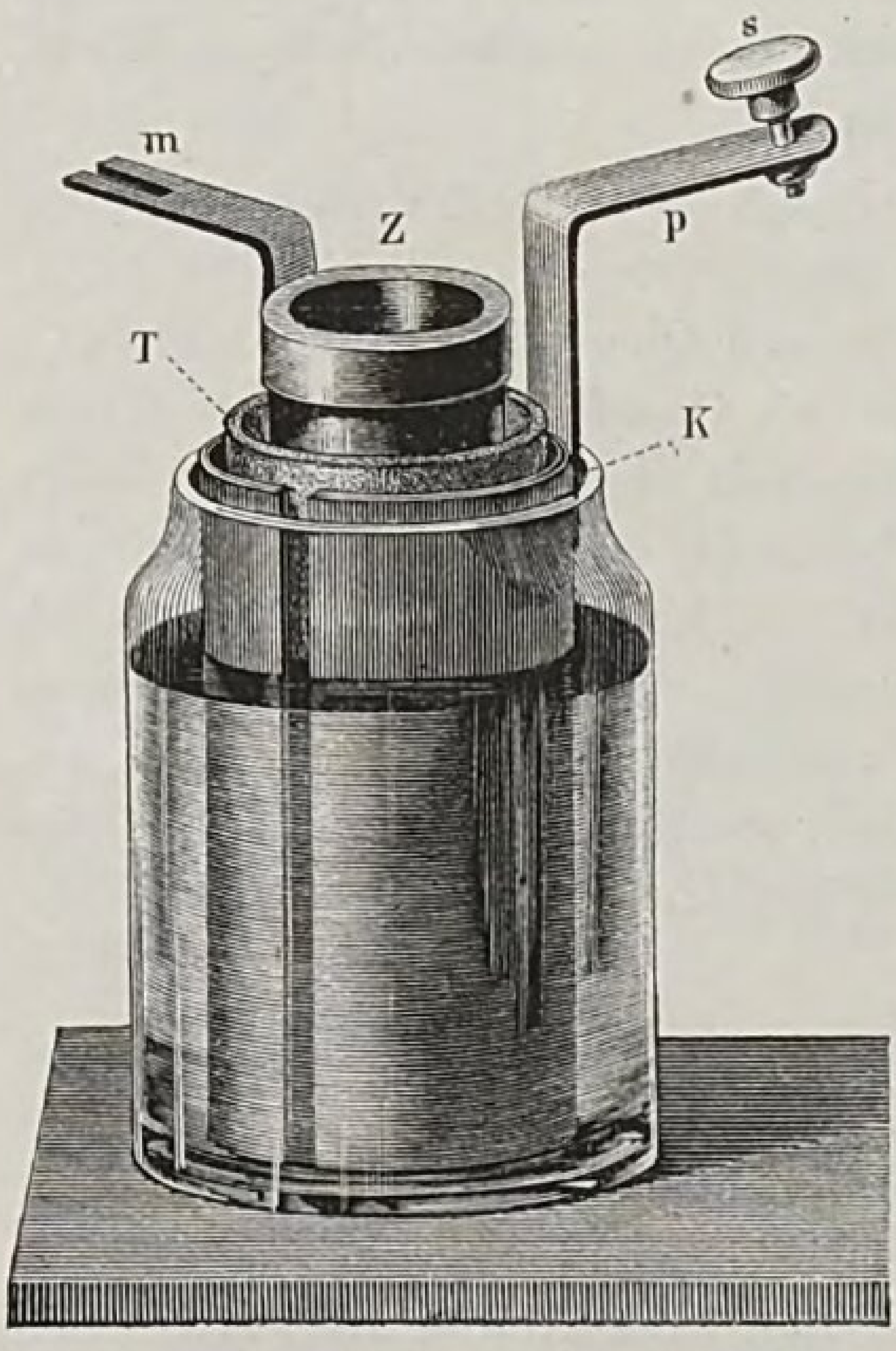
Fig. 241 (a. f. S.) stellt einen Daniell'schen Becher dar. Das mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllte Glasgefäss enthält zunächst einen aus Kupferblech gebogenen hohlen Cylinder K, innerhalb dessen die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle T steht. In die Flüssigkeit der Thonzelle ist dann der Zinkcylinder Z eingetaucht.

An dem Zinkcylinder ist ein geschlitzter Metallstreifen m, am Kupfercylinder ein Streifen p von Kupferblech befestigt, welcher die

Schraube s trägt, vermittelst deren man den Kupferstreifen p mit dem Streifen m des nächsten Bechers zusammenschrauben kann.

Man setzt aber auch häufig das Kupferblech in den äusseren Raum und das Zink in Form eines Cylinders oder eines Blockes mit kreuzförmigem Querschnitte in die Thonzelle hinein. Um die Kupfervitriollösung gesättigt zu erhalten, wird auch oft ein Kupfersieb angebracht, welches mit Krystallen von Kupfervitriol gefüllt wird. Bei Daniell's ursprünglicher Construction war statt der Thonzelle eine Ochsengurgel in Anwendung, und ausserdem eine Röhre angebracht, durch welche man die gebildete Zinkvitriollösung abfliessen lassen konnte.

Fig. 241.



Die Daniell'sche Kette hat das Missliche, dass die Thonzellen nach längerem Gebrauche durch warzenförmige Inkrustationen aus Kupfer durchzogen und bedeckt werden, so dass sie oft ausgewechselt werden müssen. Das unreine käufliche Zink setzt nämlich bei seiner Auflösung einen Schlamm, bestehend aus Kohle und fremden Metallen, ab, welcher den Boden und den unteren Theil der Thonzelle überkleidet, die zu ihm hindurch diffundirende Kupfervitriollösung unter Ausscheidung von metallischem Kupfer zersetzt und so eine secundäre Kette bildet, welche störend einwirkt. Man vermeidet diesen Uebelstand zum Theil, freilich auf Kosten der Wirkung, indem man den unteren Theil der Thonzelle mit Stearin tränkt, den gebildeten Schlamm öfters entfernt und das Zink nicht direct die Wände der Thonzelle berühren lässt.

Von den zahlreichen Modificationen der Daniell'schen Kette wollen wir noch einige erwähnen:

Buff hat, um lange Zeit hindurch constante Ströme, wenn auch von geringerer Stärke, zu erhalten, der Daniell'schen Kette folgende Form gegeben. Das Glas A, Fig. 242, ist mit einem Deckel bedeckt, durch welchen drei Glasröhren hindurchgehen; b und d sind oben und unten offen. Das weitere Glasrohr c, welches unten mit einer Thierblase zugebunden ist, enthält eine Lösung von Kupfervitriol, in welche ein Kupferstäbchen eingetaucht ist. Der Boden des Glasgefässes A ist mit Quecksilber bedeckt, unter dessen Niveau das untere Ende der Röhre d hinabreicht, durch welche ein Zinkstäbchen eingeführt wird. Durch das über dem Quecksilber mündende Rohr b wird eine Lösung

von Zinkvitriol eingegossen, bis die poröse Wand, welche das Rohr *c* unten schliesst, ganz von derselben bespült ist.

Meidinger hat die poröse Scheidewand auf folgende Weise entbehrlich gemacht. In ein unten sich verengendes Glasgefäss *A*, Fig. 243,

Fig. 242.

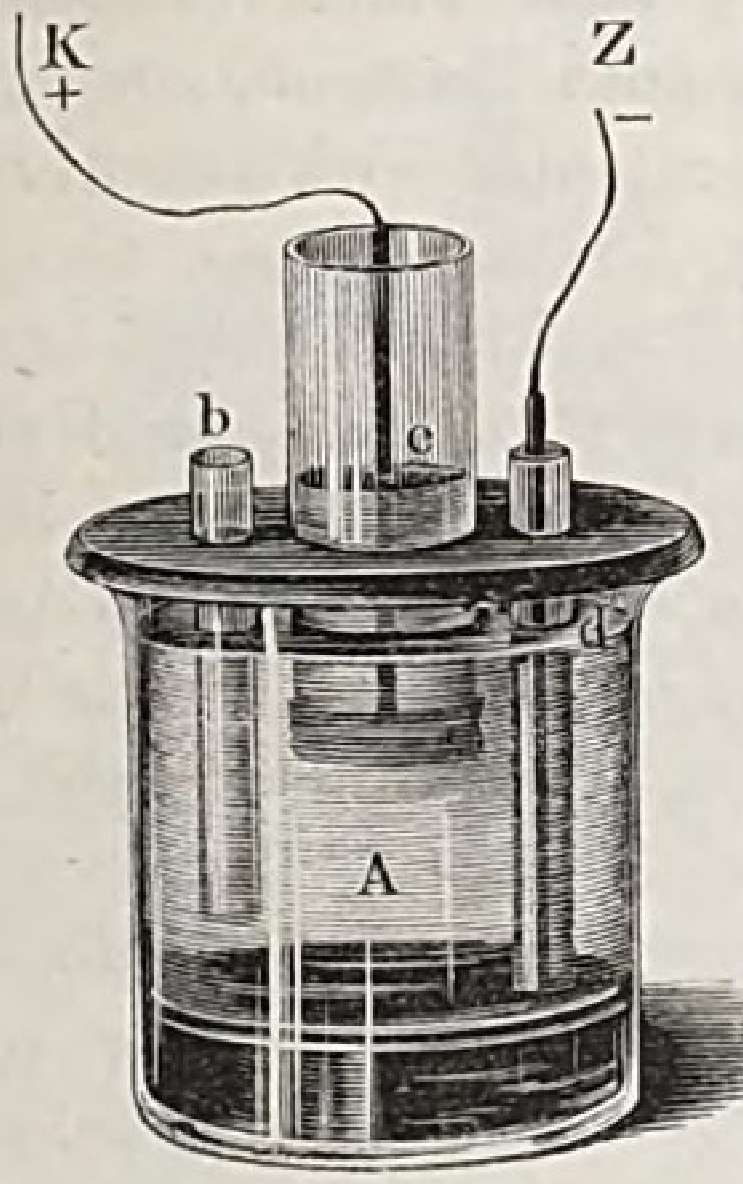
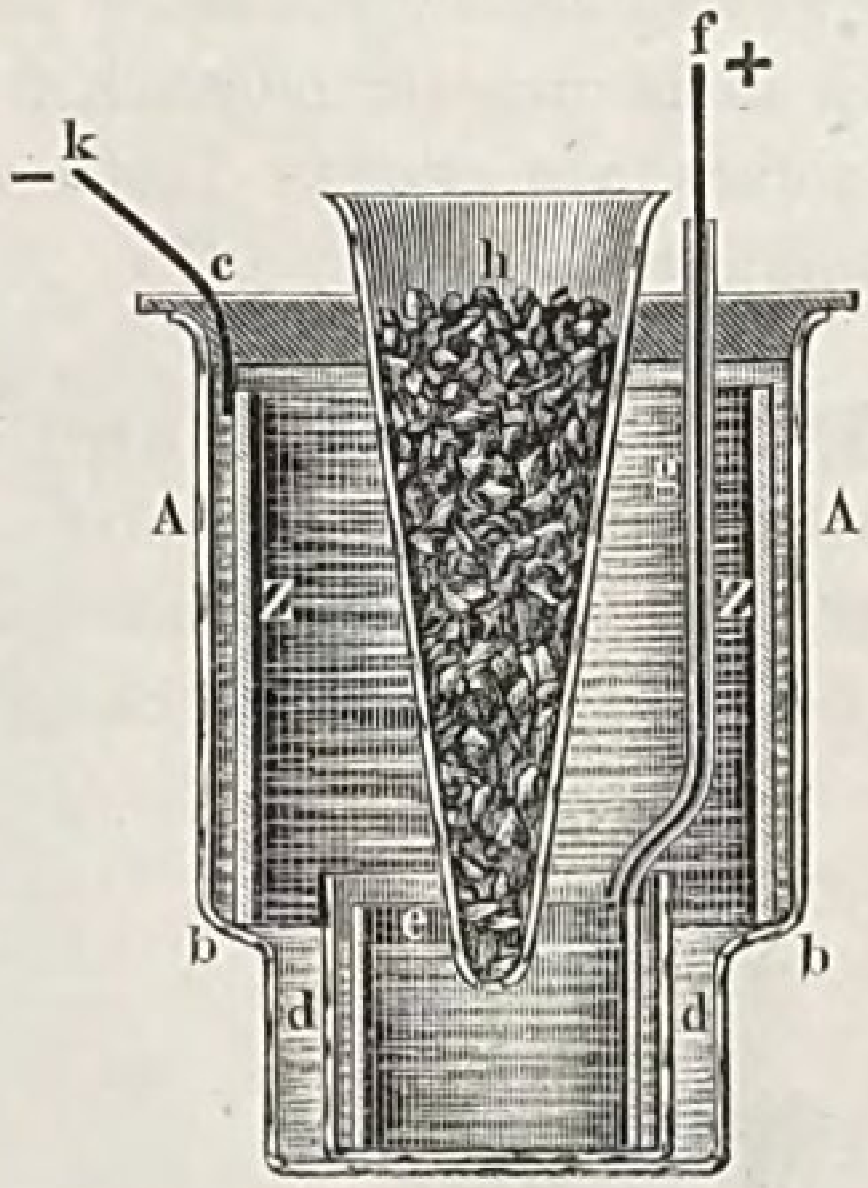


Fig. 243.



ist der Zinkring *Z* eingesetzt, während sich der Kupferring *e* in einem Glasgefässe *d* befindet, welches auf dem Boden von *A* steht. Der Zuleitungsdraht von *e* ist von einer isolirenden Guttaperchahülle oder von einer Glasröhre umgeben. Das Gefäss *A* ist mit einer Lösung von Bittersalz gefüllt, welche das Zink umspült, und in derselben hängt vom Deckel des Gefässes getragen ein Glastrichter *h* herab, welcher mit Stücken von Kupfervitriol gefüllt ist und dessen nach unten gerichtete Oeffnung mit einem Korke verschlossen ist, in dessen Umfang einige Rinnen eingeschnitten sind. Wegen ihres grösseren specifischen Gewichtes diffundirt die Lösung des Kupfervitriols nur äusserst langsam in der Bittersalzlösung. Solche Elemente können ein Jahr lang in Thätigkeit sein, ohne einer Nachfüllung zu bedürfen.

Bei neueren Elementen dieser Art wird der Glastrichter *h* durch einen mit Kupfervitriolkrystallen gefüllten Glasballon ersetzt, dessen Hals nach abwärts in die Kupfervitriollösung *e* eingesenkt ist. Man heisst diese Elemente Ballonelemente.

Siemens' Element ist dem Meidinger'schen ähnlich, aber complicirter, da es ein Diaphragma von Papiermasse enthält.

Minotto's Element ist sehr einfach construirt. Auf dem Boden des Gefässes liegt eine Kupferplatte, von welcher ein isolirter Draht in die Höhe geht, darauf eine Schicht gepulverten Kupfervitriols, darüber eine Schicht feinen Sandes, endlich auf diesem der Zinkblock. Das Ganze wird mit Wasser gefüllt. Ausserdem haben noch Candido, Pincus, Rollet und viele Andere besondere Formen der Daniell'schen Kette construirt. Auch die Flüssigkeiten wurden zum Theil vertauscht, indem

man die verdünnte Schwefelsäure durch Lösungen von Bittersalz, Kochsalz, Salmiak, Zinkvitriol, Weinstein, den Kupfervitriol durch salpetersaures Kupferoxyd, durch mechanisch vertheiltes kohlensaures oder reines Kupferoxyd ersetzte. Von allen diesen Abänderungen hat sich jedoch keine allgemeiner eingebürgert. Nur die Anwendung von Zinkvitriollösung statt verdünnter Schwefelsäure gewährt einen Vortheil, wenn es sich nicht um ein möglichst kräftig wirkendes Element, sondern um ein solches von genau bestimmter und constanter elektromotorischer Kraft handelt.

90 **Die Grove'sche und die Bunsen'sche Kette.** Grove's Kette besteht aus amalgamirtem Zink und aus Platin, wovon ersteres in verdünnte Schwefelsäure, letzteres in concentrirte Salpetersäure taucht; die beiden Säuren sind durch eine Thonzelle getrennt.

Fig. 244.

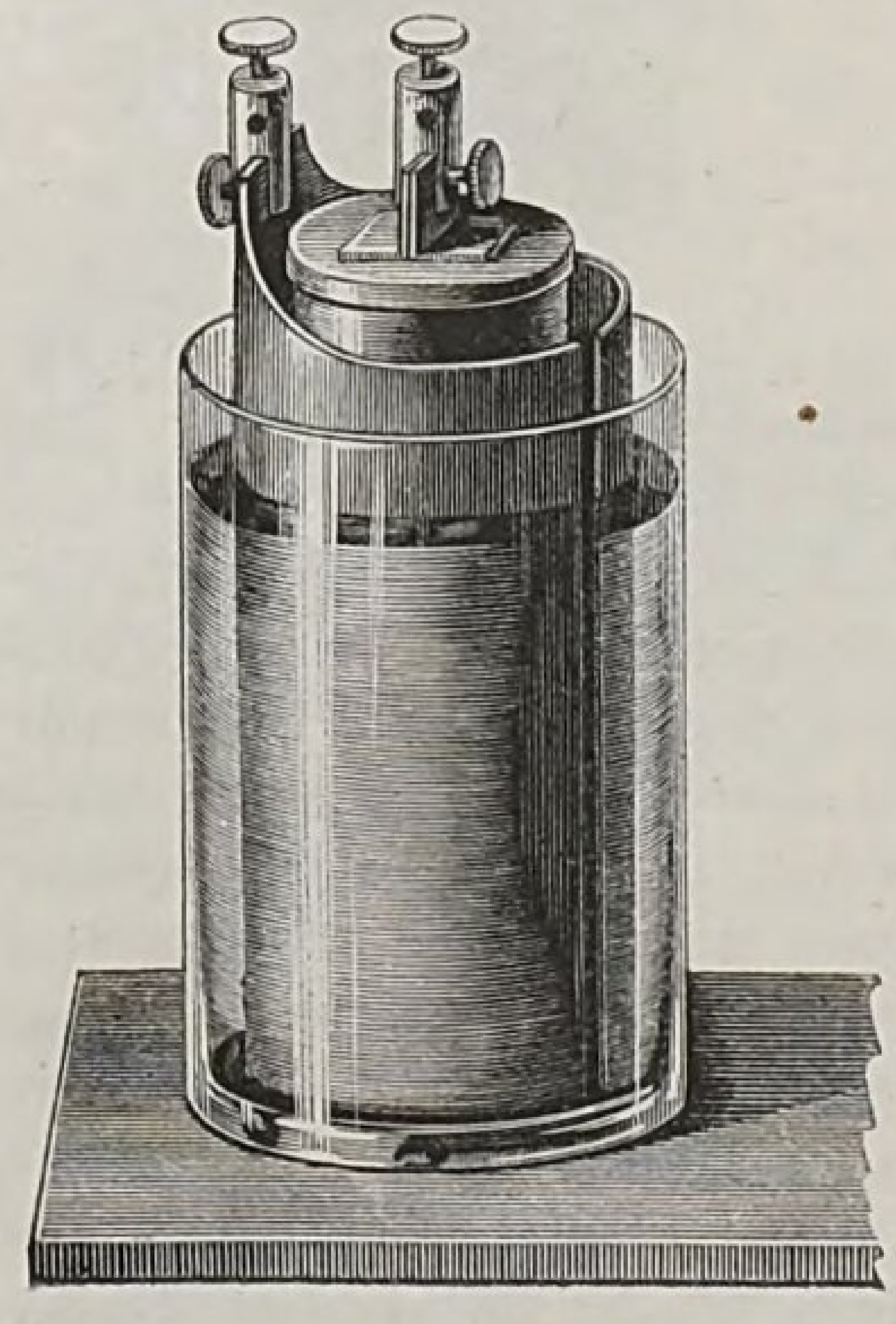


Fig. 245.

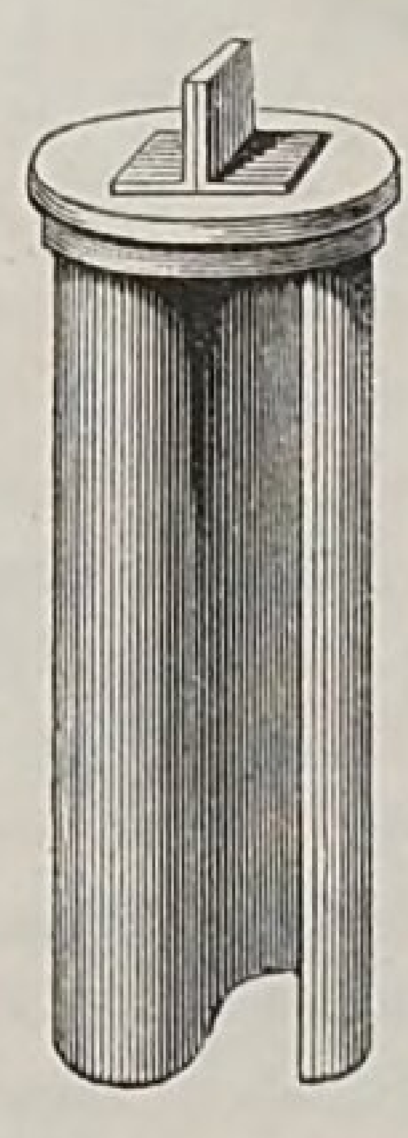


Fig. 244 stellt einen derartigen Grove'schen Becher dar. In einem runden Glasgefässe, welches die verdünnte Schwefelsäure enthält, steht der hohle Zinkcylinder. Innerhalb desselben steht die poröse Thonzelle, welche mit Salpetersäure gefüllt wird und in welche das Platinblech eingetaucht ist. Das Platinblech ist, wie man aus Fig. 245 deutlicher sieht, an einem runden Brettchen befestigt, welches gleichsam den Deckel für die Thonzelle bildet. In diesem Deckel steckt ein Stückchen Kupferblech, an welchem unten das Platinblech befestigt ist, während es oben eine Schraubklemme trägt. Eine ähnliche Schraubklemme ist auf dem Zinkcylinder aufgesetzt. Diese Schraubklemmen dienen zur Verbindung der einzelnen Elemente.

Bunsen's Kette besteht aus Kohle in concentrirter Salpetersäure, amalgamirtem Zink in verdünnter Schwefelsäure, die Flüssigkeiten getrennt durch eine Thonzelle; sie hat also dieselbe Zusammensetzung wie jene von Grove, nur dass an Stelle des kostspieligen Platins die billigere Kohle getreten ist. Die Bunsen'sche Kette hat deshalb sowie wegen ihrer kräftigen Wirkung die grösste Verbreitung

gefunden und wird fast ausschliesslich in allen den Fällen zur Anwendung gebracht, wo es sich um Herstellung sehr kräftiger Ströme durch galvanische Batterien handelt.

Die äussere Form der Bunsen'schen Kette ist dieselbe wie bei Daniell's oder Grove's Kette. Bei den älteren Bunsen'schen Elementen steht jedoch die Kohle in dem äusseren Raum und das Zink innerhalb der Thonzelle, während man in neuerer Zeit die umgekehrte Anordnung vorzieht. Fig. 246 zeigt vier solche Elemente der älteren Form, sammt der Art ihrer gegenseitigen Verbindung. Fig. 247 stellt die etwas veränderte zur Verbindung mehrerer Elemente sehr bequeme Form dar, welche Siemens und Halske den Bunsen'schen Bechern gegeben haben. Um den oberen Rand des Kohlencylinders ist zunächst ein Bleiring und um diesen der Kupferring gelegt.

Fig. 246.

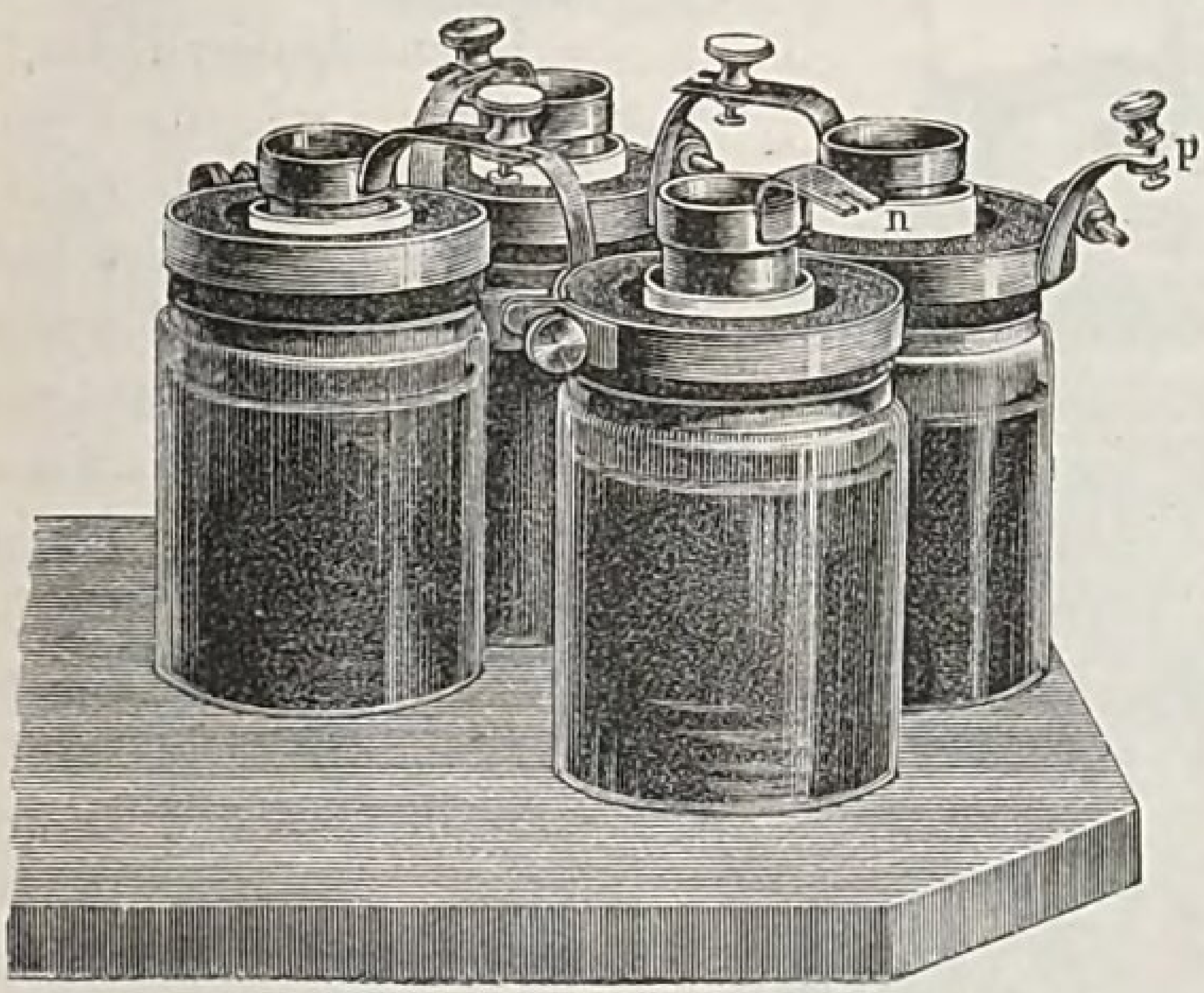
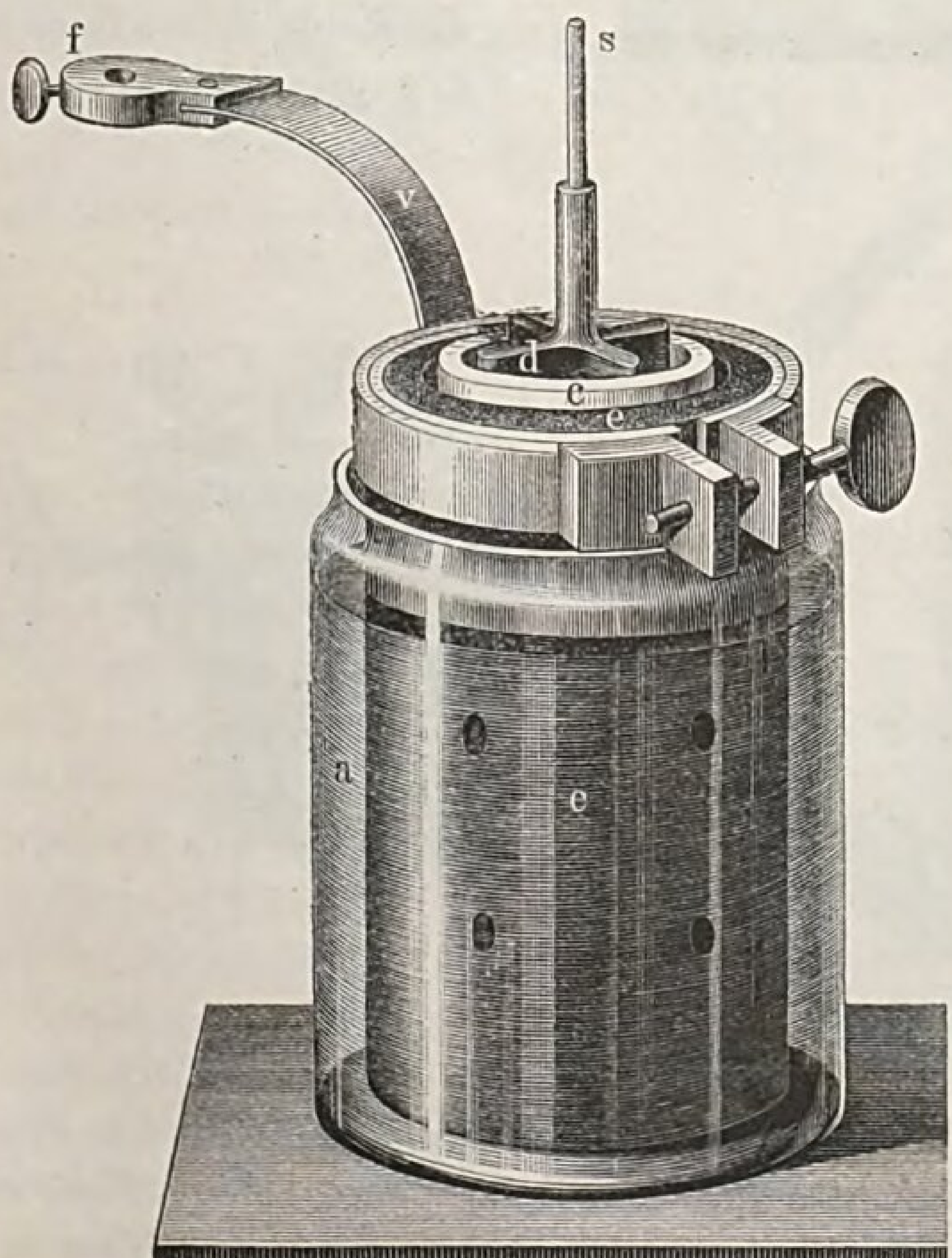


Fig. 247.



Das Anlegen und Abnehmen der Kupferringe, sowie das Reinigen derselben, welches eine lästige zeitraubende Arbeit ist, wenn man es mit einer aus vielen Bechern zusammengesetzten Säule zu thun hat, hat Stöhrer durch die in Fig. 248 (a. f. S.) dargestellte Einrichtung des Bunsen'schen Bechers vermieden.

Um den oberen Rand des Kohlencylinders ist

ein starker messingener Ring gelegt, welcher ein- für allemal festsitzt. Da wo dieser Ring an die Kohle anliegt, ist er stark gefirnisst, so dass er zur Stromleitung nicht beiträgt; bei *a* ist er mit einer viereckigen Ausbiegung versehen. An jedem Zinkcylinder, welcher, wie die Figur zeigt, einen kreuzförmigen Querschnitt hat, ist ein weicher Kupferdraht befestigt, welcher mit einer etwa 2 mm dicken Kupferplatte *p* endigt. Die Platte *p'*, welche mit dem Zink des vorhergehenden Bechers zusammenhängt, wird nun in die viereckige Ausbiegung *a* eingesetzt und durch die Schraube *r* fest gegen die Kohle dieses Bechers angepresst.

Fig. 248.

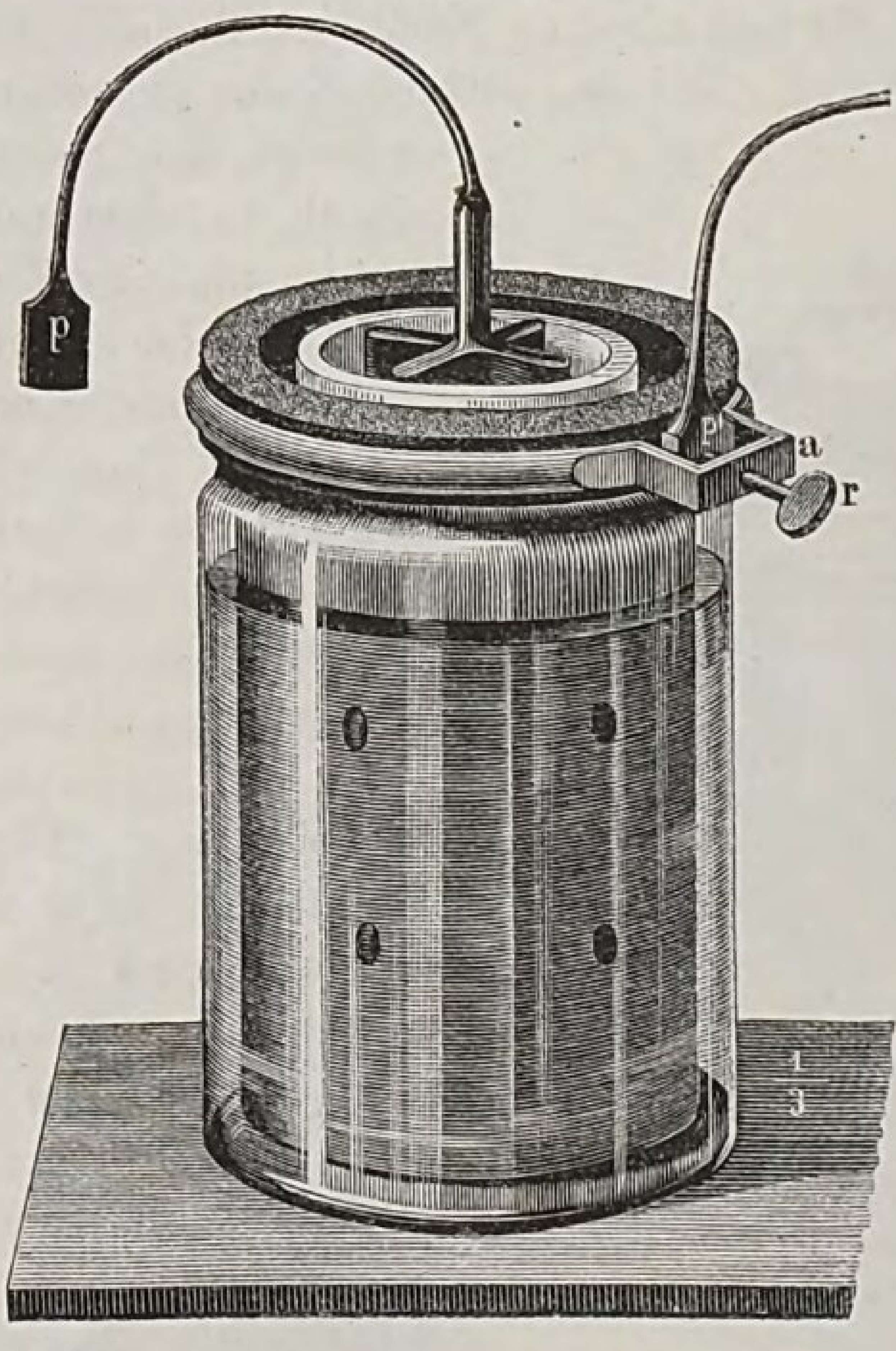


Fig. 249.

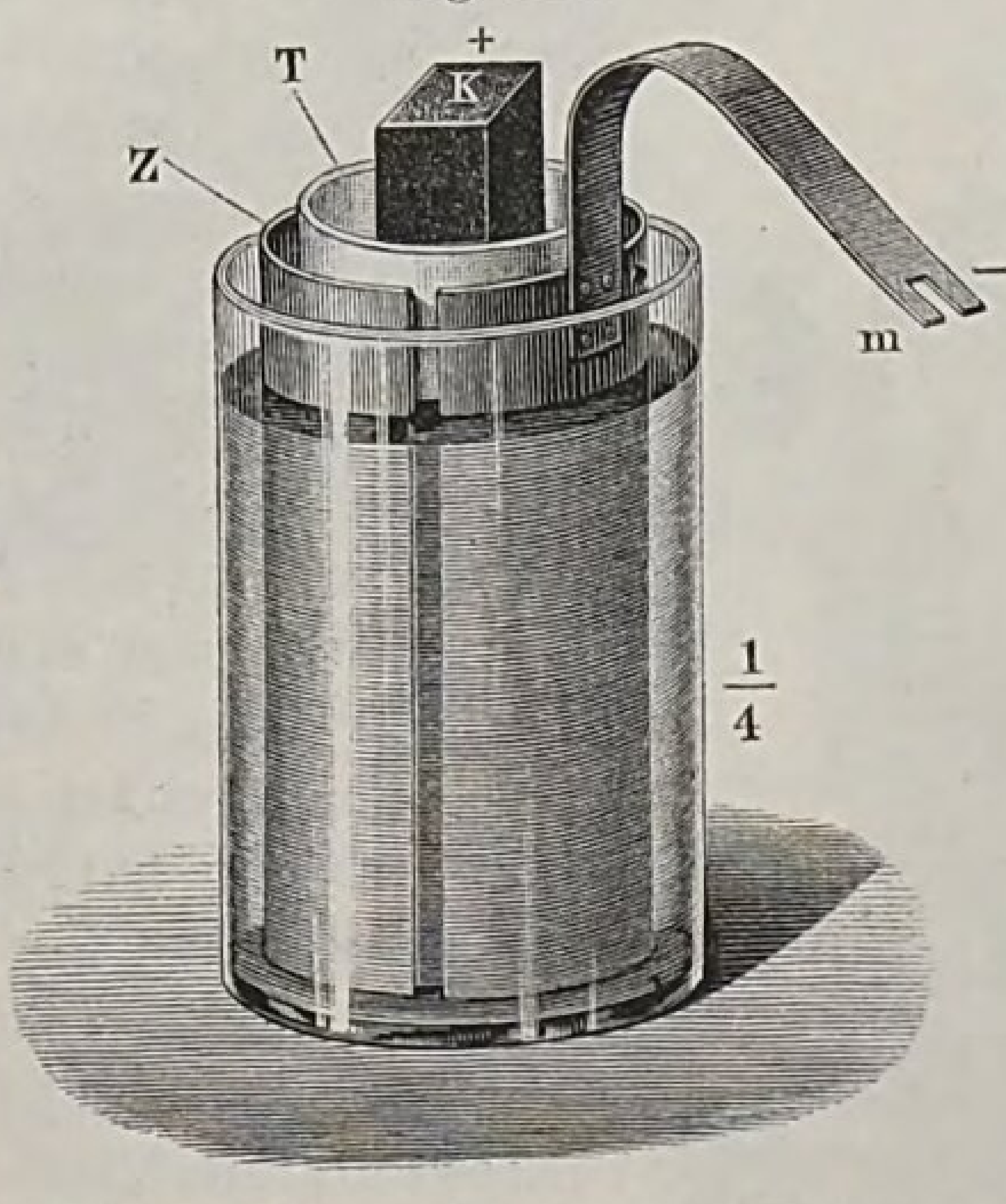
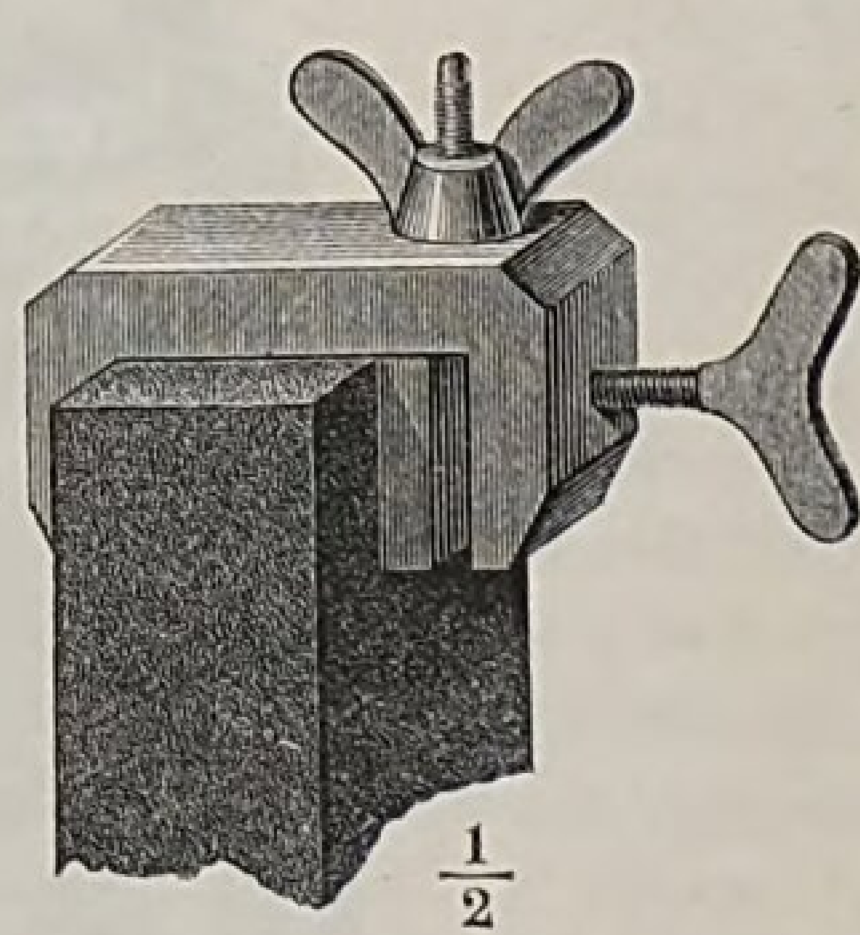


Fig. 250.

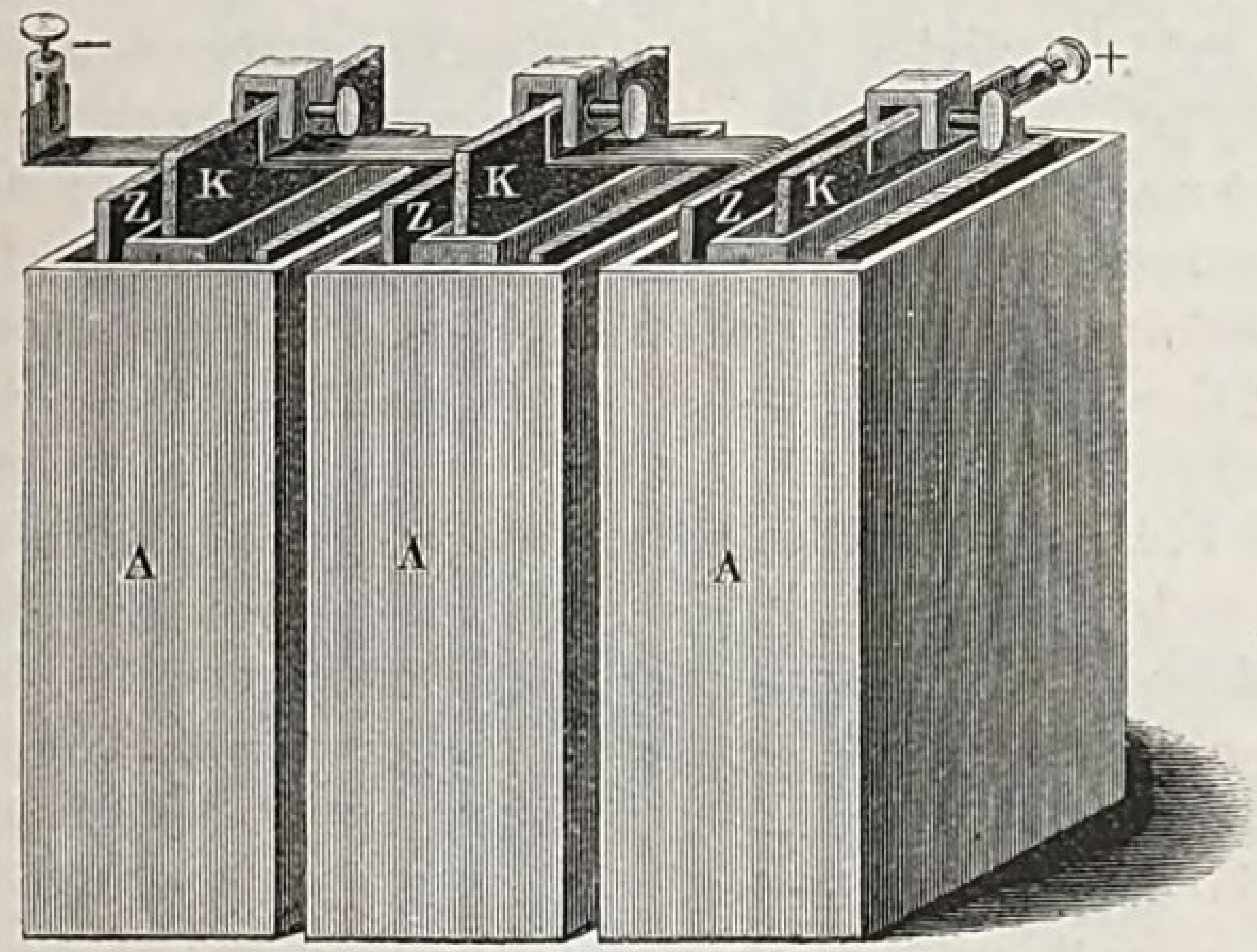


Die Kohlencylinder der Bunsen'schen Batterie müssen aus einer dichten, festen Masse verfertigt sein. Man erhält eine solche dadurch, dass man ein Gemenge von Steinkohlen und Coaks in einem verschlossenen

Tiegel glüht; die so erhaltene Masse wird mit einer concentrirten Zuckerlösung getränkt und zum zweitenmal in einem verschlossenen Tiegel geglüht, wodurch sie eine steinartige Festigkeit erlangt.

Die neuere von Deleuil stammende Form des Bunsen'schen Elementes ist in Fig. 249 abgebildet. Die dabei angewandte Kohle ist sogenannte Gaskohle, d. h. solche Kohle, welche sich an den Innenwänden der thönernen Retorten der Leuchtgasfabrikation absetzt und wegen ihrer Härte und guten Leitungsfähigkeit besonders gut eignet. Man sägt dieselbe in rectanguläre Stäbe oder Platten und setzt dieselben in das Innere der Thonzelle, während das Zink aussen herumreicht. Fig. 250 zeigt die Messingarmatur, mittelst welcher man die Verbindungskupferstreifen anklemmen kann. Man kann jedoch auch die Kohlenprismen mit einem Loche versehen, in welches ein Kupferconus eingesetzt wird, oder welches man mit Quecksilber füllt, in welches dann die Verbindungsdrähte eingetaucht werden.

Fig. 251.



In England wird dies Bunsen'sche Element auch in der compendiösen parallelepipedischen Form, Fig. 251, angewandt, doch sind die so geformten Thonzellen schwierig herzustellen.

Beim Gebrauche der Bunsen'schen Kette ist insbesondere darauf zu achten, dass das Zink recht gut amalgamirt sei. Nach v. Waltenhofen empfiehlt es sich sehr, auf den Boden des Glasgefässes eine Schichte Quecksilber zu giessen, so dass die Zinkbleche stets in dasselbe eintauchen und sich so von selbst gut amalgamirt erhalten. Die Ausgabe für das Quecksilber wird durch Zinkersparniss aufgewogen. Die Salpetersäure soll ein specif. Gewicht 1·3 bis 1·4 haben. Die verdünnte Schwefelsäure braucht nicht stärker zu sein, als vom specif. Gewichte 1·06, d. h. etwa ein Raumtheil englische Schwefelsäure auf 20 Raumtheile Wassers. Beim Mischen giesst man die Schwefelsäure in das Wasser und nicht umgekehrt. Es ist zu empfehlen, zuerst die verdünnte Schwefelsäure in das Batteriegefäss zu giessen und erst zuletzt, wenn die Thonzellen damit durchfeuchtet sind, die Salpetersäure einzufüllen, damit von derselben möglichst wenig zum Zink gelange. Nach dem Ge-

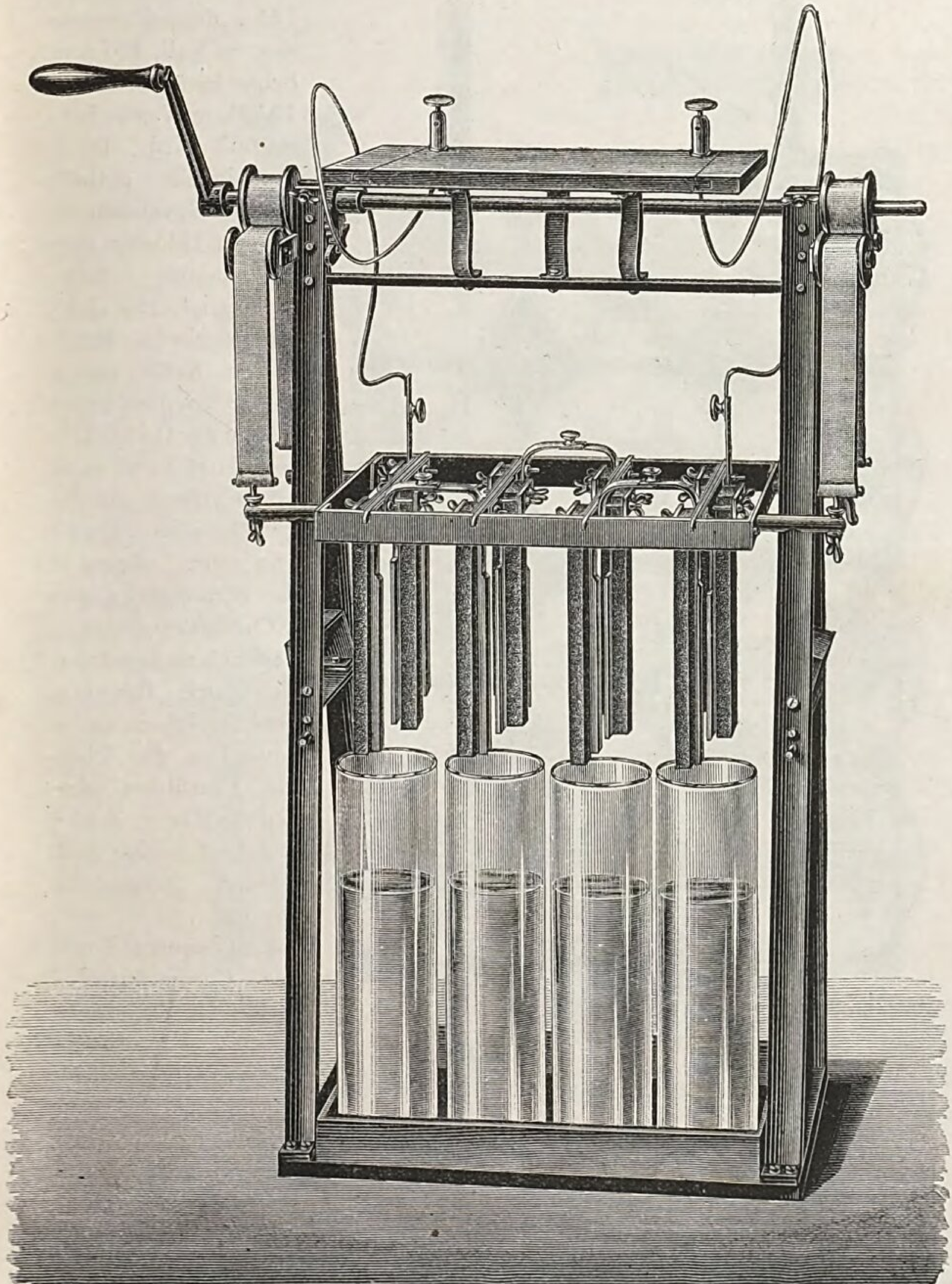
brauche müssen die Thonzellen gut ausgewässert werden, da sie sonst durch Krystallisation der Salze zerstört werden.

Die Bunsen'sche wie die Grove'sche Kette haben eine beinahe doppelt so grosse elektromotorische Kraft als die Daniell'sche und sind ebenso constant, bis die Salpetersäure zu verdünnt geworden ist, aber sie haben einen Uebelstand, der ihre Anwendung in bewohnten Räumen verbietet. Sie verbreiten nämlich abscheuliche Dämpfe von Untersalpetersäure, welche giftig sind, und ausserdem alle Metallgegenstände angreifen, insbesondere alles Eisen rosten machen. Man darf sie daher nur in gut ventilirten Räumen aufstellen. Bunsen hat deshalb eine Modification dieser Kette erfunden, welche unter dem Namen der Chromsäurekette bekannt ist. Die Chromsäure hat nämlich, wie die Salpetersäure, ein grosses Oxydationsvermögen. Da jedoch die reine Chromsäure ziemlich theuer ist, so verwendete Bunsen eine Flüssigkeit aus 12 Gewichtstheilen doppeltchromsaurem Kali, 25 Gewichtstheilen Schwefelsäurehydrat auf 100 bis 150 Gewichtstheile Wasser. Eine noch wirksamere Flüssigkeit stellte Bunsen später her, indem er 92 g pulverisirten doppeltchromsauren Kalis mit 93·5 ccm concentrirter Schwefelsäure, das Pulver nach und nach zusetzend, zusammenrieb, bis ein gleichförmiger Brei von Chromsäure mit doppeltschwefelsaurem Kali entstanden war, welchem dann unter Umrühren 900 ccm Wasser zugesetzt wurden, bis Alles gelöst war. Wenn diese Flüssigkeit, welche anfangs schön gelbroth gefärbt ist, eine Zeitlang den Strom geleitet hat, so färbt sie sich dunkel, indem unter Reduction der Chromsäure in Chromoxyd ein Doppelsalz von schwefelsaurem Chromoxyd mit schwefelsaurem Kali, der Chromalaun, gebildet wird. Der letztere überzieht dann auch oft die Platten in Form von grünen Krystallen. Da die chromsäurehaltige Flüssigkeit das Zink nicht stärker angreift als Schwefelsäure, so kann man die Thonzelle ganz entbehren, indem man Kohle und Zink in dieselbe Flüssigkeit taucht. Die dadurch erreichte Vereinfachung des Elementes und die Geruchlosigkeit desselben geben diesen Chromsäureketten als Zimmerbatterie einen Vortheil. Doch ist dieselbe weniger andauernd wirksam als die eigentliche Bunsenkette. Für den Gebrauch sehr zweckmässig sind die Tauchbatterien, welche ihren Namen daher tragen, weil bei ihnen die Kohlen- und Zinkplatten oder manchmal nur die Zinkplatten so aufgehängt sind, dass sie in die bereits gefüllten Gefässe getaucht werden, wenn man den Strom benöthigt.

Fig. 252 zeigt eine solche Tauchbatterie von Bunsen in perspectivischer Ansicht, Figur 253 im Grundriss. In einem gemeinschaftlichen horizontalen Rahmen sind vier Holzleisten eingesetzt, deren jede drei Plattenpaare trägt. Die Befestigung derselben ist aus Fig. 254, 255, 256 (a. S. 273) zu ersehen. An die Zinkplatten Z sind Kupferbügel o angelöthet. An die Holzleiste H legt sich von beiden Seiten je ein Kupferstreifen cd und ab, welche die Verbindung zwischen der Zinkplatte

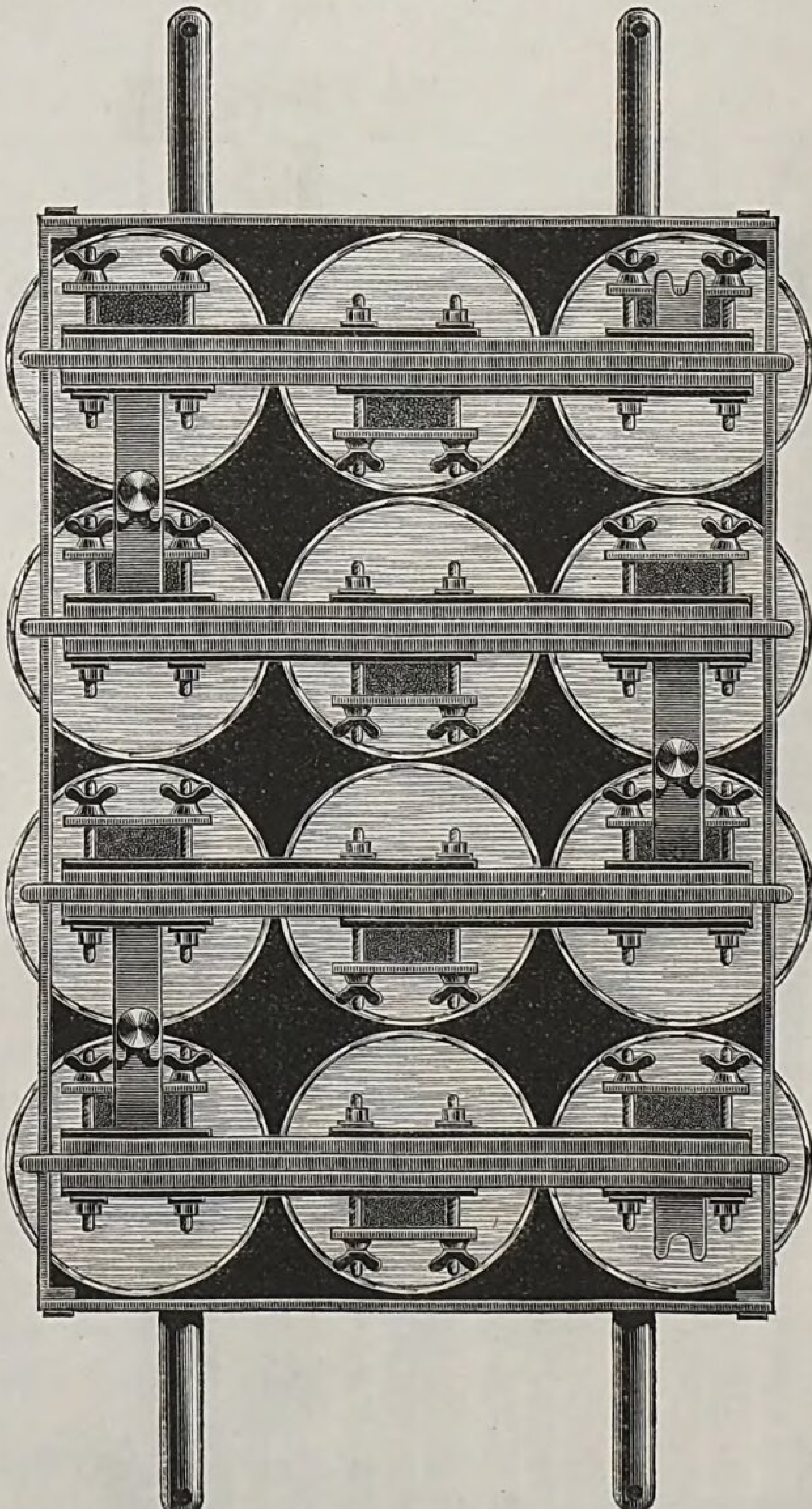
des einen mit der Kohlenplatte des nächsten vermitteln. An diese Kupferstreifen werden durch die Schrauben ss und $s's'$ und deren

Fig. 252.



Schraubenmuttern n, n', f, f' einerseits die Kohlenplatte k, andererseits der das Zink tragende Kupferbügel o angeschraubt. Die Gläser enthalten eine Flüssigkeit, welche per Element aus 155 g doppeltchromsaurem Kali, 157 ccm Schwefelsäure und 1512 ccm Wasser hergestellt wird. Diese Flüssigkeit enthält mehr Schwefelsäure, als zur Bildung von Chromalaun nothwendig ist. Die elektromotorische Kraft dieser Kette ergab sich 2·3 mal so gross als die der Daniell'schen Kette und auch etwas grösser als die gewöhnliche Bunsen'sche. Beginnt die Stromstärke der Chromsäurekette nachzulassen, so kann sie durch Bewegen der Flüssigkeit, durch Ausheben der Platten, Umrühren oder Lufteinblasen nochmals auf einige Zeit wieder hergestellt werden.

Fig. 253.



Eine bequeme Form des Chromsäureelements ist das sogenannte Flaschenelement (Fig. 257). Die Zinkplatte Z kann zwischen den Kohlenplatten k, k mittelst des Stabes a eingesenkt oder über das Flüssigkeitsniveau emporgezogen werden, wenn man das Element ausser Thätigkeit setzen will. Unter den zahlreichen vorgeschlagenen Modificationen der Bunsen'schen und Grove'schen Kette wollen wir nur noch einige wenige kurz be-

schreiben. — Marié Davy ersetzte die Salpetersäure durch einen Brei von schwefelsaurem Quecksilberoxydul Hg_2SO_4 und Wasser. Es wird

Fig. 254.

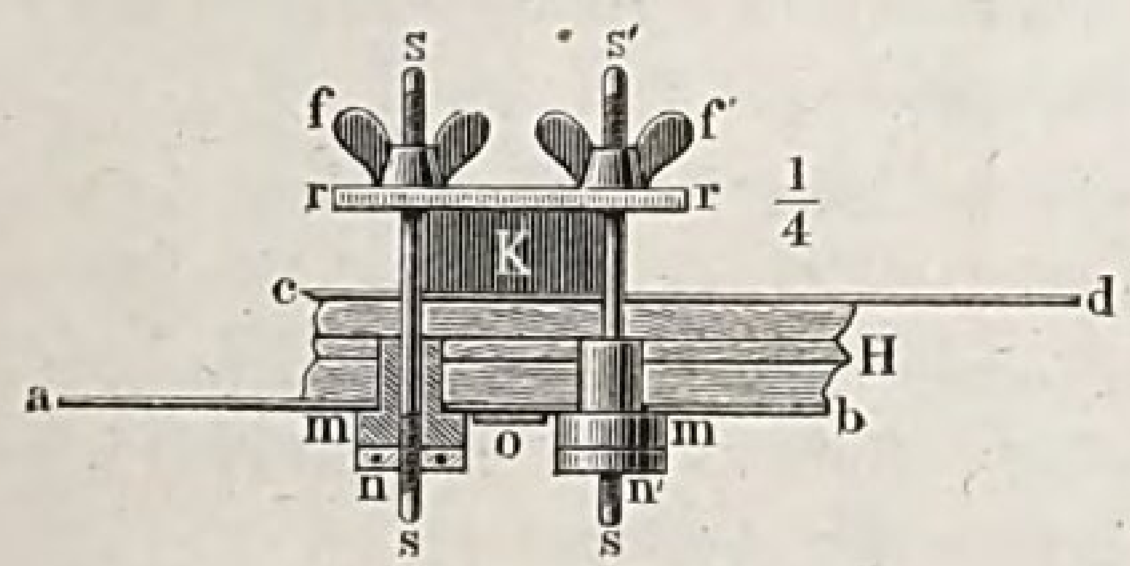
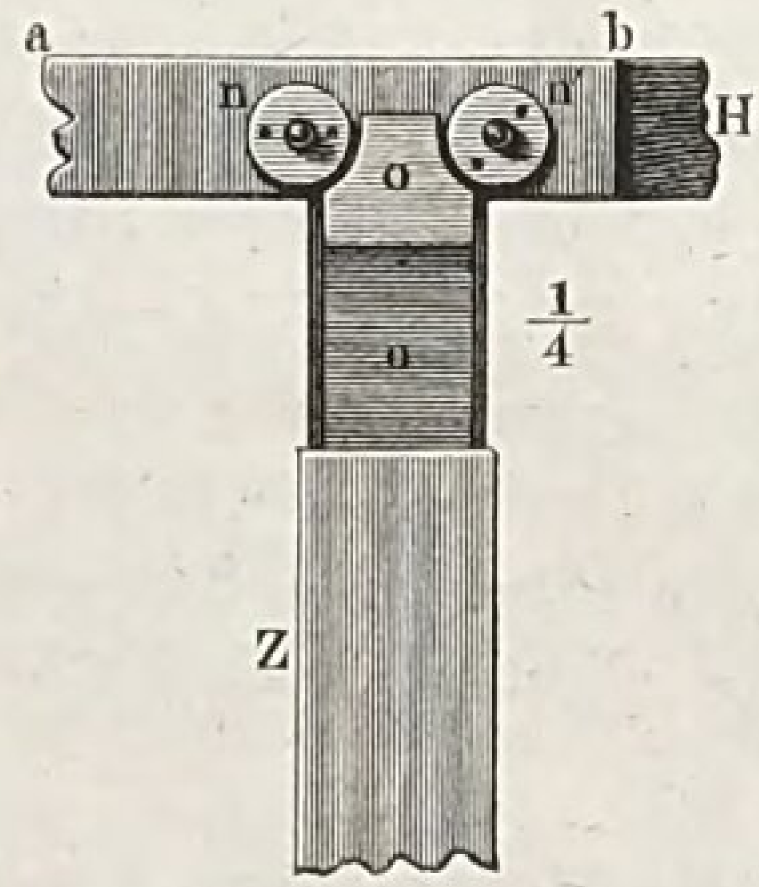


Fig. 255.



dabei dieses Salz zersetzt, indem sich Quecksilber an der Kohle ausscheidet und Schwefelsäure frei wird.

Grenet machte bei diesem Elemente auch die Thonzelle entbehrlich, indem er die Kohle von dem Quecksilbersalz umgeben auf den Boden eines Gefässes lagerte und das Zink darüber in die Flüssigkeit hängte.

Fig. 256.

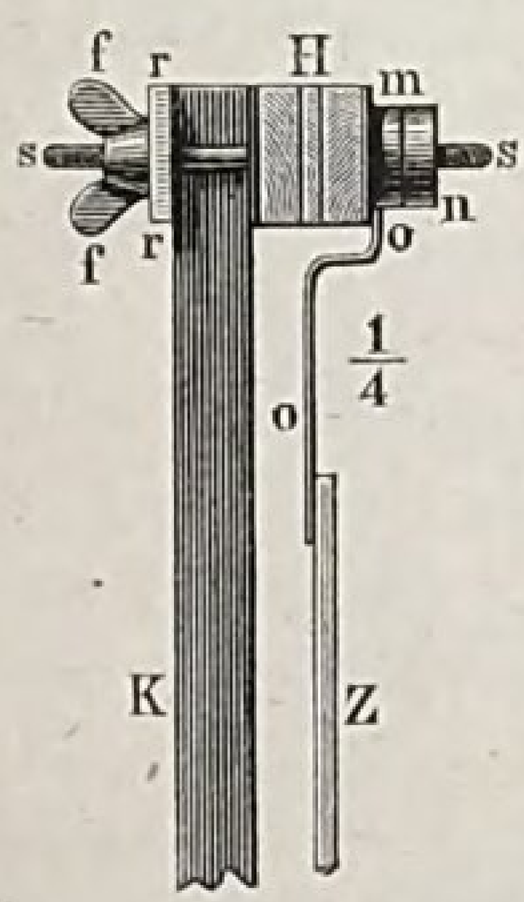
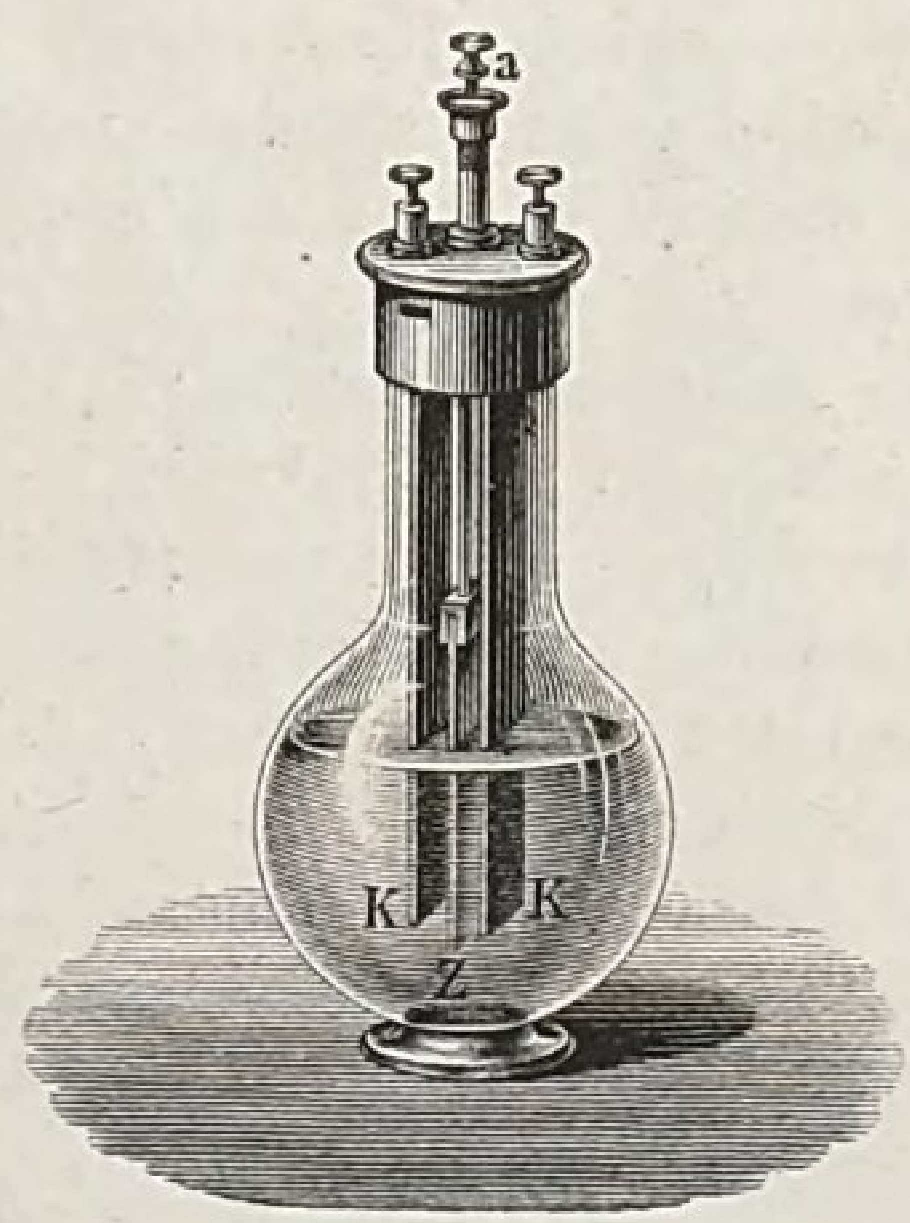


Fig. 257.



Da ohnedies Schwefelsäure frei wird, so braucht man anfangs nur mit Wasser zu füllen. Die elektromotorische Kraft dieser Kette ist ungefähr gleich $1\frac{1}{4}$ Daniell. Auch schwefelsaures Bleioxyd ist statt des Quecksilbersalzes in Vorschlag gebracht worden.

Hawkins ersetzte das Platin der Grove'schen Kette durch Eisen, welches in concentrirter Salpetersäure nicht angegriffen wird.

Die Salpetersäure macht nämlich das Eisen passiv, d. h. das Eisen überzieht sich unter dem Einflusse der Salpetersäure, wie weiter unten

gezeigt werden soll, mit einer stark elektronegativen Schicht, welche den weiteren Angriff der Säure hindert. Eine Säule von Zink in verdünnter Schwefelsäure und von Eisen in concentrirter Salpetersäure wirkt fast ebenso kräftig wie eine Grove'sche oder Bunsen'sche. Man kann auch das Zink durch Eisen ersetzen und so eine Säule aus einem Metall construiren, dessen Platten aber abwechselnd in verdünnter Schwefelsäure und concentrirter Salpetersäure stehen.

Die Salpetersäure, welche man zu den letztgenannten Apparaten verwenden will, muss sehr concentrirt sein, weil schwächere Säure das Eisen stürmisch angreift, wobei eine bedeutende Entwickelung von Dämpfen salpetriger Säure stattfindet. Sobald dies eintritt, hört natürlich die elektromotorische Wirksamkeit des Apparates auf.

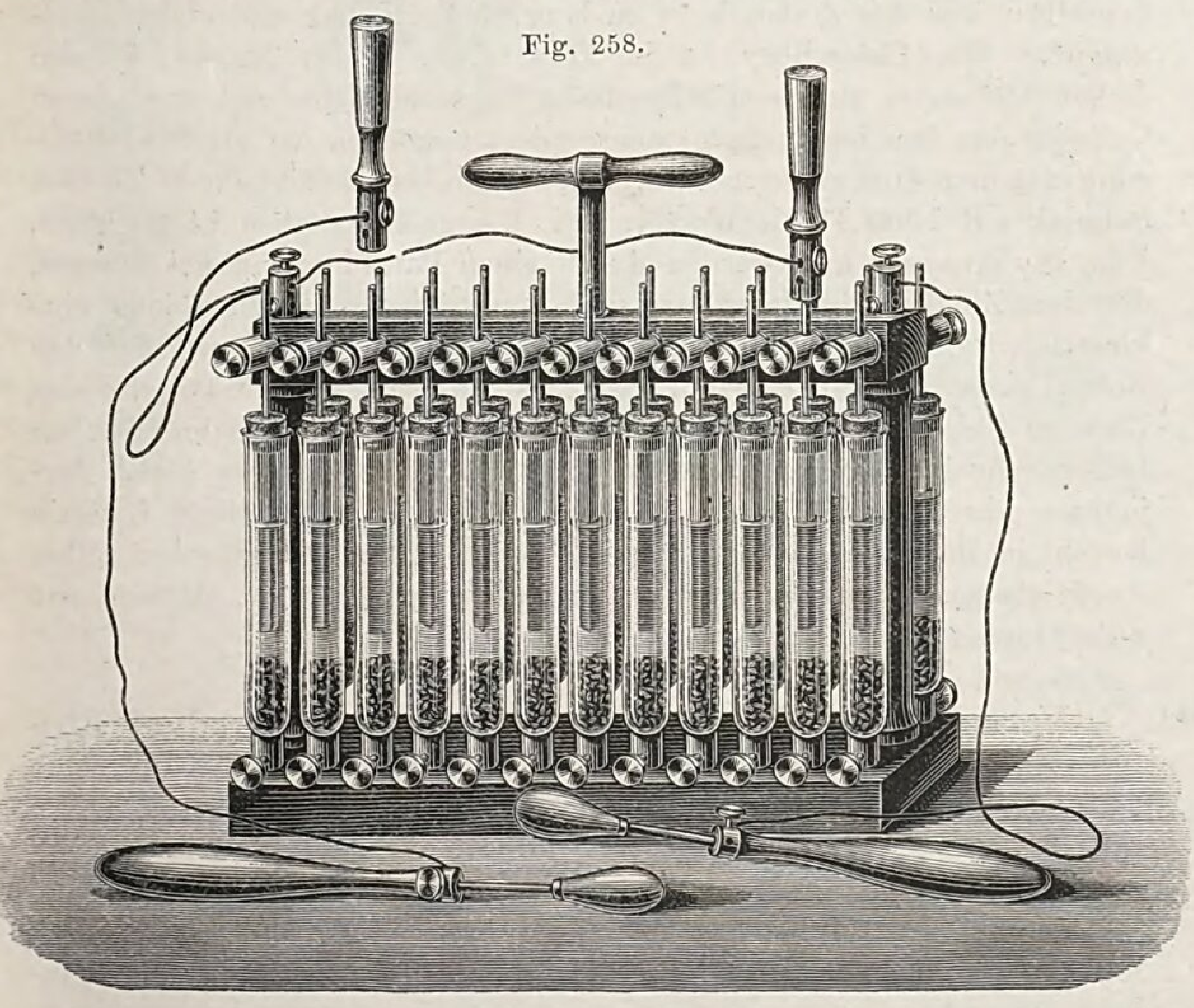
91 **Die Ketten von Smee, Leclanché und Pincus.** Ausser den bisher beschriebenen Ketten, welche, mit Ausnahme des Chromsäureelementes Bunsen's, zwei verschiedene Flüssigkeiten enthalten, sind noch nachfolgende Ketten mit nur einer Flüssigkeit in allgemeinerer Anwendung.

Smee's Kette besteht aus amalgamirtem Zink und aus mit Platinmohr überzogenem Platin oder Silber, welche Metalle beide in dieselbe Flüssigkeit, nämlich verdünnte Schwefelsäure, tauchen. Die elektromotorische Kraft dieses Elementes ist im Augenblicke des Stromschlusses grösser als die eines Daniell'schen, nimmt aber sehr rasch ab, erreicht dann in wenigen Minuten den Werth 0·731 (Daniell = 1 gesetzt), welcher längere Zeit (1 bis 2 Stunden) constant bleibt und erst dann langsam abzunehmen beginnt, wenn die verdünnte Säure merkliche Mengen von Zinkvitriol aufgenommen hat. Man hat früher die rasche Abnahme der ursprünglichen elektromotorischen Kraft der Polarisation der Platinoberfläche, nämlich einer Bedeckung derselben mit Wasserstoff zugeschrieben. Diese Erklärung ist nach Exner nicht haltbar. Nach seiner Theorie ist vielmehr die anfängliche grössere elektromotorische Kraft dem Umstande zuzuschreiben, dass die Flüssigkeit Sauerstoff absorbirt enthält, welcher den durch den Strom ausgeschiedenen Wasserstoff oxydirt. Diese chemische Reaction addirt sich zur Wirkung der Oxydation des Zinks und vermehrt daher die elektromotorische Kraft des Elementes über den normalen constanten Werth 0·731 hinaus, welcher erst dann eintritt, wenn aller Sauerstoff verzehrt ist. Der fein vertheilte Zustand des Platins scheint die Oxydation des Wasserstoffs zu unterstützen.

Diese Elemente werden insbesondere als Tauchbatterie zu Vorlesungszwecken benutzt. Damit die Flüssigkeit nicht zu bald mit Zinkvitriol sich anreichert, werden die Glasgefässe viel tiefer genommen als die eintauchenden Metallplatten. Das Platin- oder Silberblech kann auch durch platinirtes Blei ersetzt werden.

Leclanché's Kette besteht aus gewöhnlichem Zink einerseits und aus gepulvertem Braunstein andererseits, welcher in eine Thonzelle eingefüllt ist. Als erregende Flüssigkeit dient Salmiaklösung. Um die leitende Verbindung mit dem Braunstein herzustellen, wird eine Kohlenplatte in denselben versenkt. Auch pflegt man häufig den Braunstein mit grobem Pulver von Coaks zu mengen. Die Thonzelle hat in diesem Falle keine Flüssigkeiten zu trennen, sondern nur das Braunsteinpulver zusammenzuhalten, sie kann daher auch durch eine durchlöcherte Zelle aus Guttapercha ersetzt werden. Die gefüllte Thonzelle wird häufig mit geschmolzenem Pech verschlossen. Man hat diese Kette auch als Modification der Bunsen'schen aufgefasst, indem man sich vorstellt, dass der Braunstein (Mangansuperoxyd) die Salpetersäure ersetze. Seine Wirkung beruht auf der Abgabe von Sauerstoff an den Wasserstoff, wodurch derselbe zu Wasser oxydirt wird. Leclanché's Kette ist lange wirksam und hat eine grössere elektromotorische Kraft als die Daniell'sche. Sie empfiehlt sich wegen ihrer Billigkeit und Bequem-

Fig. 258.



lichkeit insbesondere dort, wo es auf lange andauernde Ströme geringerer Stärke ankommt.

v. Beetz hat der Kette von Leclanché eine für therapeutische Zwecke recht zweckmässige Form gegeben (Fig 258). Jedes einzelne

Element besteht aus einer Reagenzglasröhre, in deren Boden ein Platindraht eingeschmolzen ist. Das Glas wird zu $\frac{1}{3}$ der Höhe mit einem Gemisch von grob gestossener Gaskohle und Braunstein, dann bis $\frac{2}{3}$ der Höhe mit concentrirter Salmiaklösung angefüllt. Durch den Kautschukstopfen reicht ein Zinkstab in die Flüssigkeit, an welchen oben ein Messingdraht angegossen ist; derselbe wird mit dem Platindraht des nächsten Elementes verbunden. Das Uebrige ist aus der Abbildung zu ersehen, welche eine Batterie von 24 solchen Elementen sammt den Applicationspolen darstellt. Pincus und fast gleichzeitig Warren de la Rue und Müller haben eine Chlorsilberkette construirt, welche eine analoge Einrichtung wie die Kette von Leclanché besitzt. Ein amalgamirter Zinkstab und ein mit gefälltem Chlorsilber gefülltes Silberbecherchen befinden sich in einer mit Kochsalzlösung gefüllten Proberöhre, die mittelst eines Korkes, der die Zuleitungsdrähte hindurchlässt, geschlossen ist. Warren de la Rue und Müller haben in neuerer Zeit Chlorsilberbatterien bis zur enormen Anzahl von 11000 Elementen aufgebaut. Bei denselben war der Zinkstab 15 cm lang, 5·6 mm dick und nicht amalgamirt. Das Chlorsilber ist in Form eines 5·4 cm langen, 7·6 mm dicken Stäbchens an einen Silberdraht angeschmolzen und von einem Cylinder aus drei Lagen Pergamentpapiers umgeben, um directe Berührung mit dem Zink zu vermeiden. Die Flüssigkeit besteht aus 23 Theilen Salmiak auf 1000 Theile Wasser. Die Glasgefässe haben 14 cm Höhe, 3 cm Durchmesser und werden durch einen Paraffinpfropf geschlossen, der den Zinkstab hindurchlässt und den Silberdraht am Rande einklemmt. Die äussere Anordnung der Batterie ist ähnlich wie bei der Batterie von Beetz nach Leclanché. Beim Schluss der Kette wird das Zink zu Chlorzink gelöst und eine äquivalente Menge Chlorsilber zu Silber reducirt. Die elektromotorische Kraft ist ungefähr gleich derjenigen eines Daniell'schen Elementes. Der Vortheil dieser Batterie besteht in ihrer Compendiosität. Die hohen Anschaffungskosten sollen durch die geringen Erhaltungskosten aufgewogen werden, da man das Silber immer wieder verwenden kann.

92 **Verschiedene Verbindungsweisen Volta'scher Elemente, Pachytrope, Stromwender.** Wir werden bald sehen, dass man zu gewissen Stromeffecten einer Säule von vielen Plattenpaaren bedarf, während zu anderen nur wenige Plattenpaare, ja nur ein einziges, aber von möglichst grosser Oberfläche, nöthig ist. Im ersteren Falle wandte man sonst die eigentliche Volta'sche Säule, Fig. 228 S. 247, im letzteren dagegen Hare's Calorimotor, Fig. 240 S. 261, oder ähnliche Apparate an. Wenn man mit constanten Rheomotoren experimentirt, also mit Daniell'schen, Bunsen'schen oder Grove'schen Bechern, so kann man nach Belieben bald eine Säule von vielen Plattenpaaren, bald eine solche von weniger Plattenpaaren, aber grösserer Oberfläche herstellen, je nachdem man die Becher auf verschiedene Weise combinirt.

Gesetzt, man habe acht Becher zur Disposition, so sind mit denselben vier verschiedene Combinationen möglich; diese vier Combinationen sind in den Fig. 259 bis 262 dargestellt.

Fig. 259 stellt diejenige Combination der acht Becher vor, bei welcher sie eine Säule von acht Plattenpaaren bilden. Man sagt in diesem Falle, die Elemente seien hintereinander verbunden. Wenn die

Fig. 259.

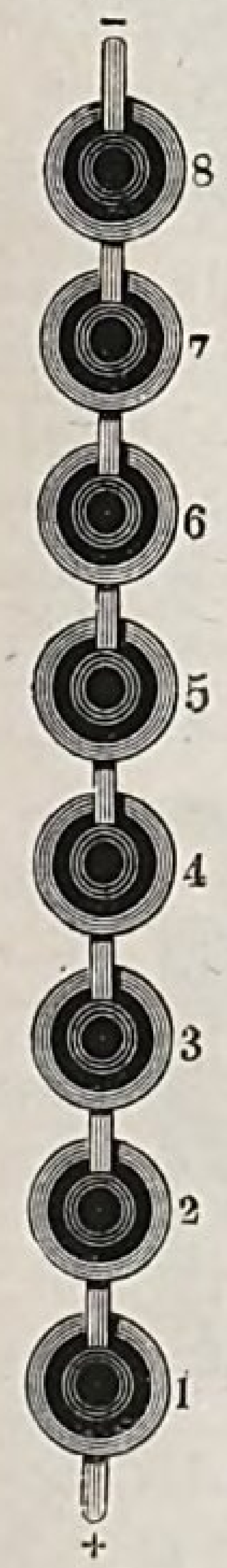


Fig. 260.

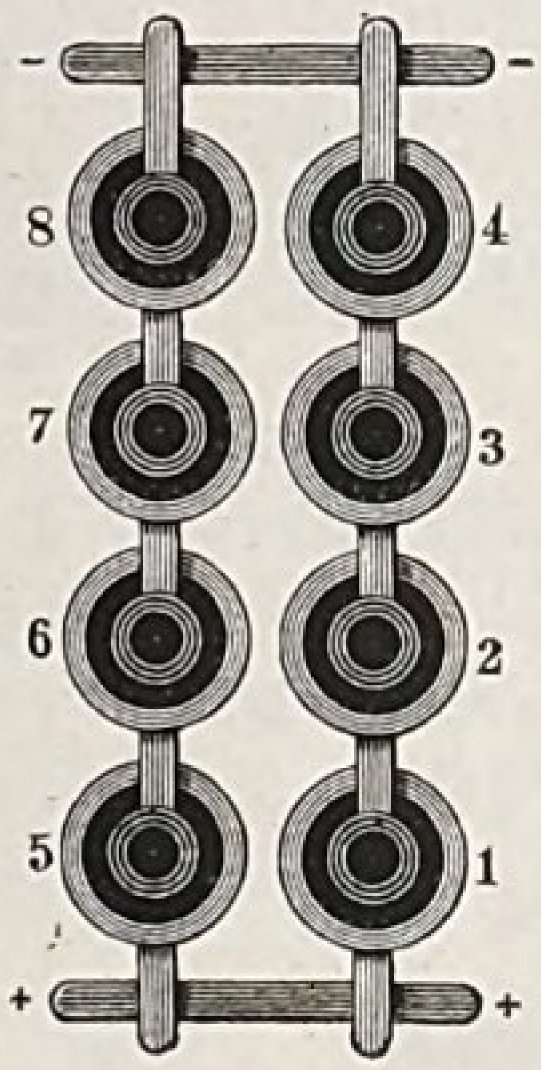


Fig. 261.

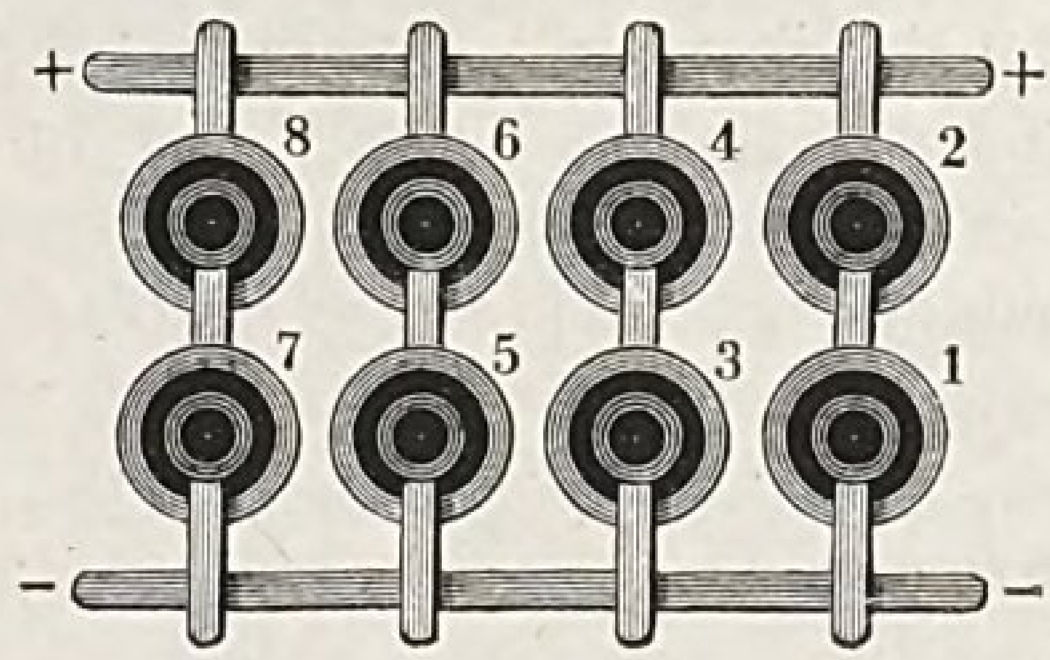
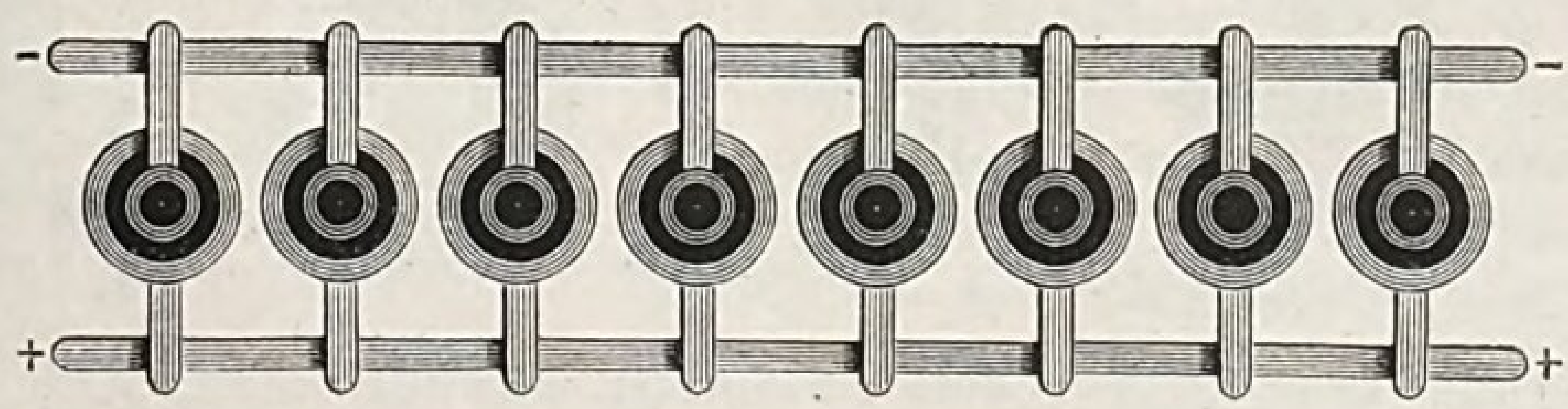


Fig. 262.



beiden Pole dieser Säule in leitende Verbindung gebracht werden, so muss der Strom die acht Becher der Reihe nach durchlaufen. Bezeichnen wir mit E die freie Spannung an den Polen eines einzelnen Bechers, so ist $8E$ die freie Spannung an den Polen der Säule Fig. 259.

Bei der in Fig. 260 dargestellten Combination bilden die vier Becher 1, 2, 3 und 4 eine Säule; die vier Becher 5, 6, 7 und 8 bilden eine zweite Säule; die gleichnamigen Pole dieser beiden Säulen sind in leitende Verbindung gebracht, so dass das Ganze eine Säule von vier Plattenpaaren repräsentirt, deren jedes eine doppelt so grosse Oberfläche hat als ein Plattenpaar der Säule Fig. 259.

In Fig. 261 bilden die Becher 1 und 2 für sich eine Säule von zwei Plattenpaaren, 3 und 4 bilden eine zweite, 5 und 6 eine dritte, 7 und 8 endlich eine vierte. Die gleichnamigen Pole dieser vier Säulen sind in leitende Verbindung gebracht, so dass das Ganze eine Säule von

zwei Plattenpaaren darstellt, deren Oberfläche 4 mal so gross ist als die eines einzelnen Bechers.

Bei der Combination Fig. 262 endlich sind die acht Zinkcylinder unter sich in leitende Verbindung gebracht, ebenso die acht Kupfercylinder, so dass das Ganze ein einfaches Plattenpaar von 8 facher Oberfläche repräsentirt. In diesem Falle sagt man, die Elemente seien nebeneinander verbunden.

Es versteht sich von selbst, dass bei der Combination Fig. 259 und bei der Combination Fig. 262 die einzelnen Becher nicht durchaus in gerader Linie aufgestellt sein müssen. So stellt ja z. B. Fig. 246 auf Seite 267 vier Bunsen'sche Becher dar, welche zu einer Säule von vier Plattenpaaren verbunden sind, ohne in gerader Linie aufgestellt zu sein.

Um die Drahtenden oder Blechstreifen der einzelnen Elemente mit einander zu verbinden, bedient man sich entweder der Quecksilbernäpfe, in welche man die Enden eintaucht, oder bequemer der von Poggendorff eingeführten Klemmschrauben, von welchen die Figuren 263, 264, 265 und 266 eine Abbildung geben, die keiner weiteren Erläu-

Fig. 263.

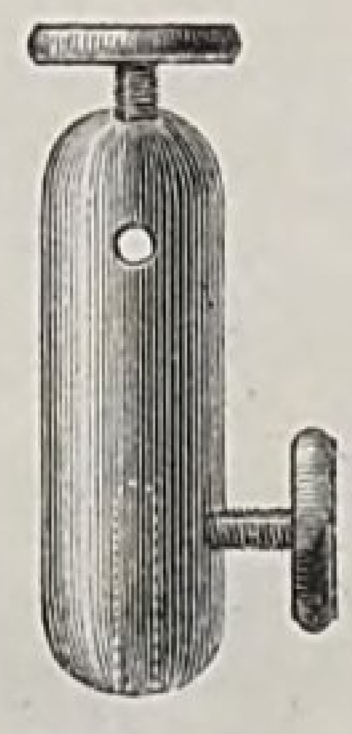


Fig. 264.



Fig. 265.

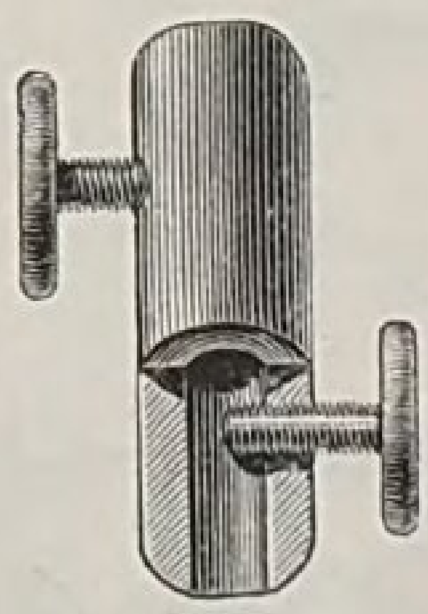
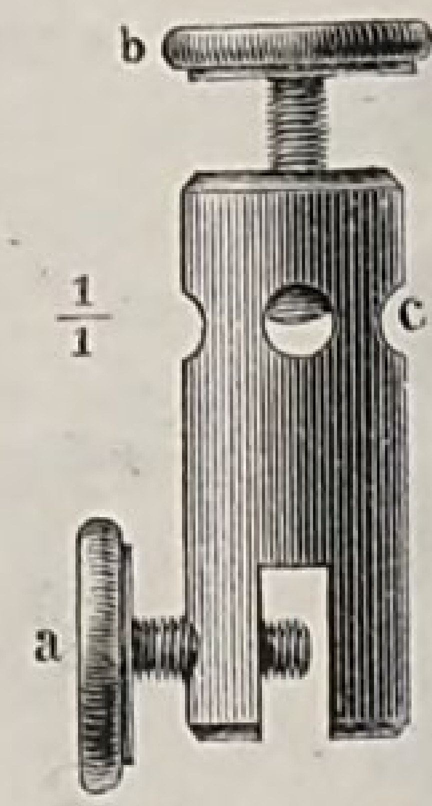


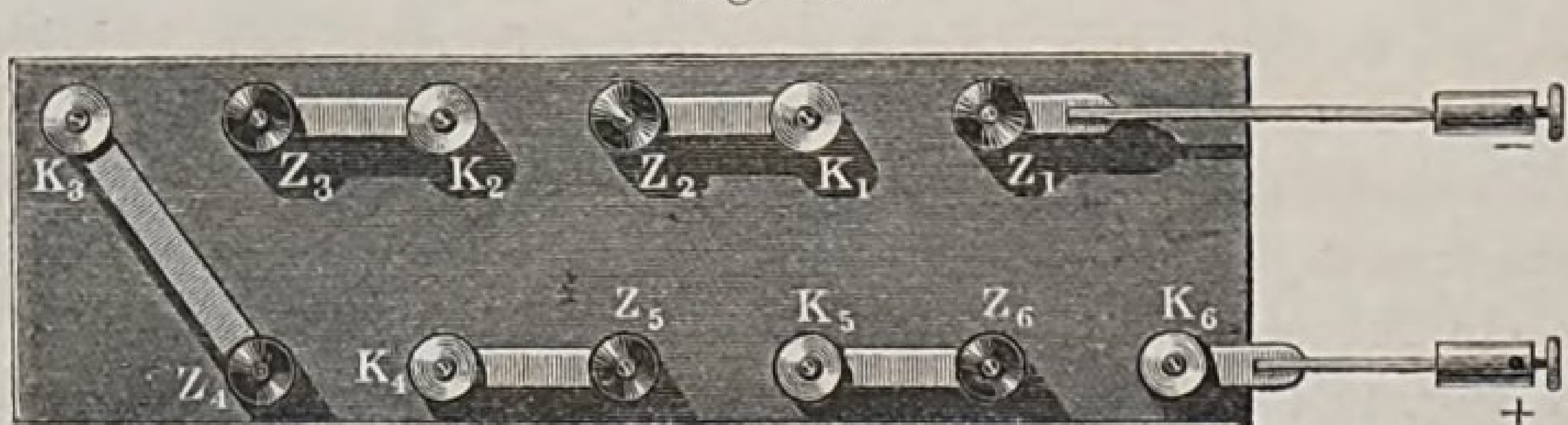
Fig. 266.



terung bedarf. Vor dem Zusammenschrauben müssen die Drähte stets blank gescheuert werden. Die sicherste Verbindung erhält man aber stets durch Eintauchen der amalgamirten Drahtenden in Quecksilbernäpfe.

Um die sechs Becher seiner grossen Zinkkohlenbatterie auf verschiedene Weise combiniren zu können, hat Stöhrer an derselben eine Vorrichtung angebracht, welche er als Pachytrop bezeichnet. Auf einem Brett von Eichenholz, Fig. 267 und Fig. 268 sind an jeder Längs-

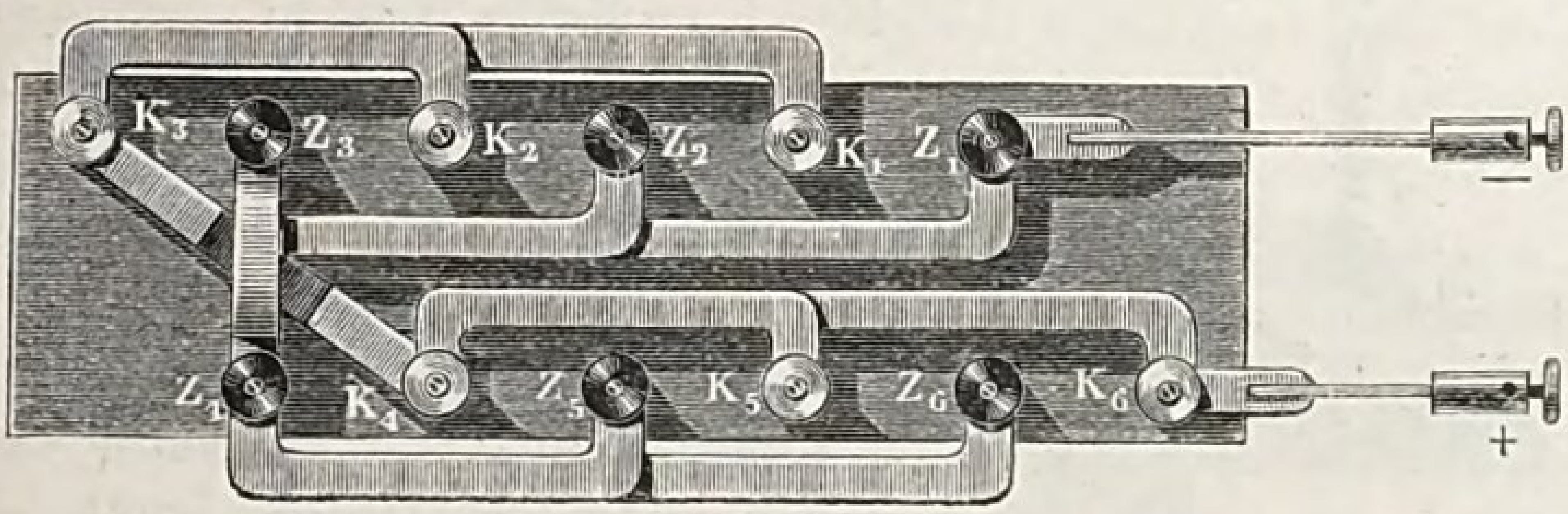
Fig. 267.



seite sechs Messingsäulchen von der in Fig. 269 dargestellten Einrichtung eingeschraubt. Auf jeder Seite des Brettes stehen drei Zink-

kohlenbecher. Von jedem Kohlencylinder sowohl wie von jedem Zinkstern führt ein Kupferdraht zu dem entsprechenden Messingsäulchen, um in demselben mittelst der Schraube t festgeklemmt zu werden. So

Fig. 268.



ist das Zink des ersten, zweiten . . . sechsten Bechers mit den Messingsäulchen Z_1, Z_2 . . . Z_6 in leitender Verbindung; die Kohlencylinder des ersten, zweiten . . . sechsten Bechers dagegen sind mit den Messingsäulchen K_1, K_2 . . . K_6 verbunden.

Um nun die Messingsäulchen in verschiedener Weise mit einander verbinden zu können, dienen Streifen von Kupferblech von der Form Fig. 270 oder Fig. 271, welche zwischen das Säulchen s und die Schraubenmutter m, Fig. 269, eingeklemmt werden.

Fig. 269.

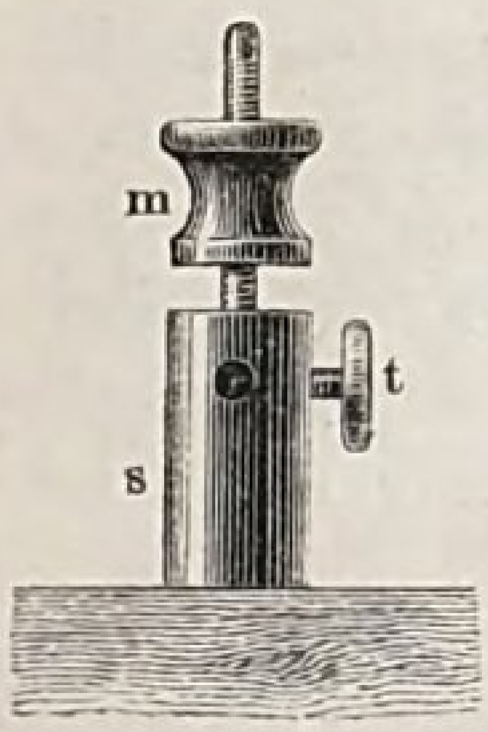


Fig. 270.



Fig. 271.



Bei der Verbindung Fig. 267 sind die Becher so verbunden, dass sie eine Säule von sechs Elementen bilden, bei der Combination Fig. 268 sind dagegen alle sechs Becher zu einem einzigen Plattenpaare verbunden. Durch entsprechende Abänderung der Verbindung kann man auch leicht eine Säule von zwei dreifachen oder eine solche von drei Doppelbechern herstellen.

Es giebt noch andere Formen des Pachytrops. Eine sehr zweckmässige und übersichtliche Vorrichtung zu beliebiger Combination constanter Elemente hat Bothe im CIX. Bd. von Poggendorff's Annalen beschrieben.

Zum Oeffnen und Schliessen eines Stromes, sowie zur Einschaltung einer Nebenschliessung ist der sogenannte Schlüssel von du Bois Reymond sehr bequem (Fig. 272 a. f. S.). Das Hartgummibrettchen a wird mittelst Schraubenzwinge am Tischrande befestigt, die zu verbindenden Leitungen werden bei b und c eingeklemmt. Wird dann der Hebel d in die gezeichnete Lage gebracht, so schliesst er den Strom, legt man ihn zurück, so unterbricht er denselben. Endlich sind noch zahlreiche Apparate im Gebrauche, durch welche die Richtung des Stromes in einer Leitung rasch umgekehrt werden kann. Dieselben heissen Stromwender, Commutatoren, Gyrotrope oder Inver-

soren. Einer der einfachsten derselben ist der Ruhmkorff'sche Gyrotrop, der nach dem Princip des Vierweghahns construirt und in Fig. 273 abgebildet ist. *c* ist ein Elfenbeincylinder mit zwei aufgesetzten vergoldeten Messingwülsten *d* und *e*, wovon eine mit der metallenen Axe *a* und durch diese mit der Klemmschraube *f* in Verbindung steht, während die andere Wulst *c* mit dem hinteren Axenstück *b* und der Klemme *g* verbunden ist. Die Axenstücke *a* und *b* sind von einander isolirt. An die beiden Wülste legen sich die federnden Blechstücke *k* und *l* mit Reibung an und setzen jene mit den Klemmen *h* und *i* in leitende Verbindung. Man klemmt die Poldrähte der Batterie bei *g* und *f* ein. Je nach der Stellung der Wülste geht dann der Strom durch *r* von *h* nach *i* oder umgekehrt. Um den Strom umzukehren, braucht man also nur die Axe um 180⁰ zu drehen. Dreht man um 90⁰, so unterbricht man den Strom ganz. Aehnlich wirkt der Stromwender, welcher in Fig. 274 abgebildet und wohl ohne Weiteres verständlich ist. Ein mit Quecksilbercontact wirksamer Stromwender ist unter Anderen der von Pobl construirte, Fig. 275. Die Quecksilbernäpfe *d*, *g*, *f* und *c* sind über Kreuz durch von einander isolirte Drähte ein für allemal verbunden. Zwei

Fig. 272.

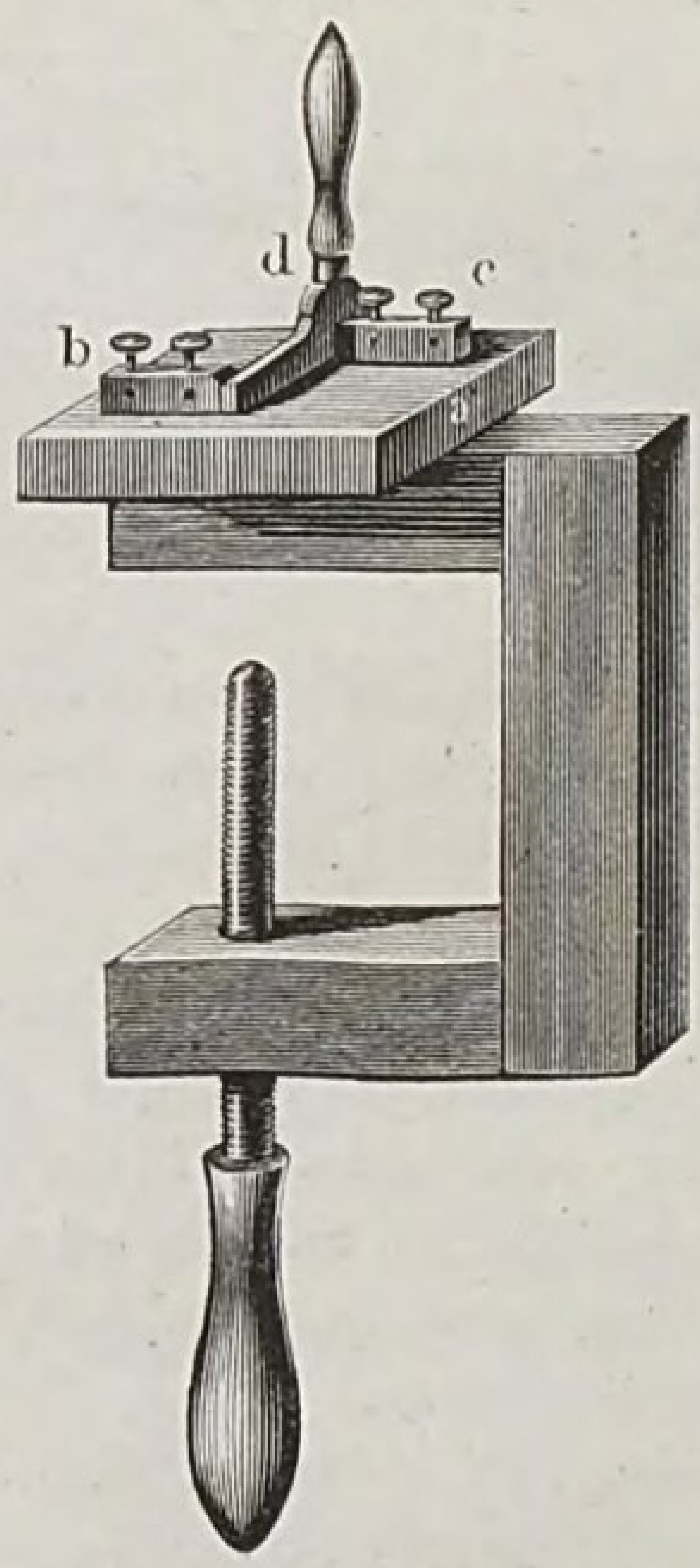
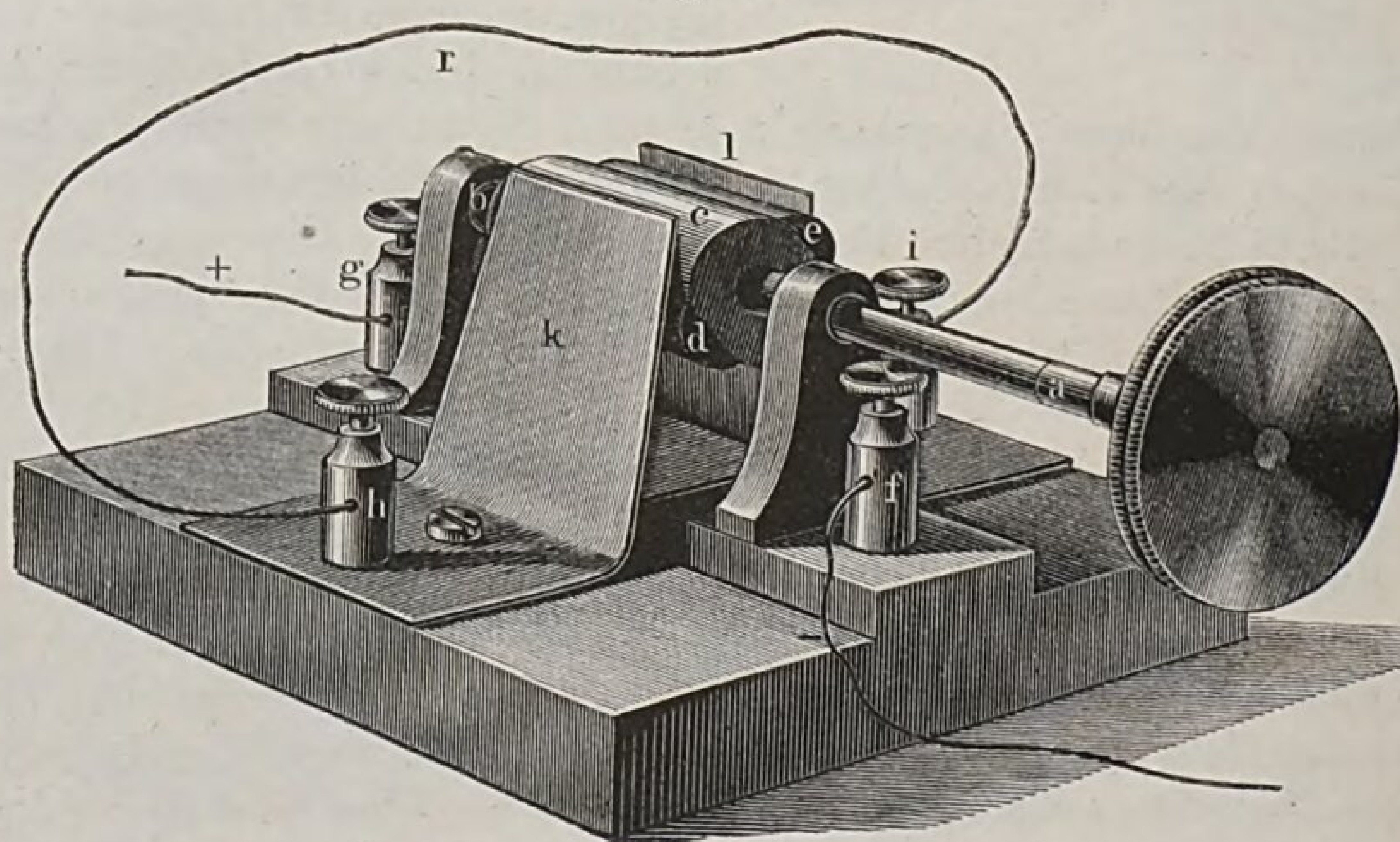
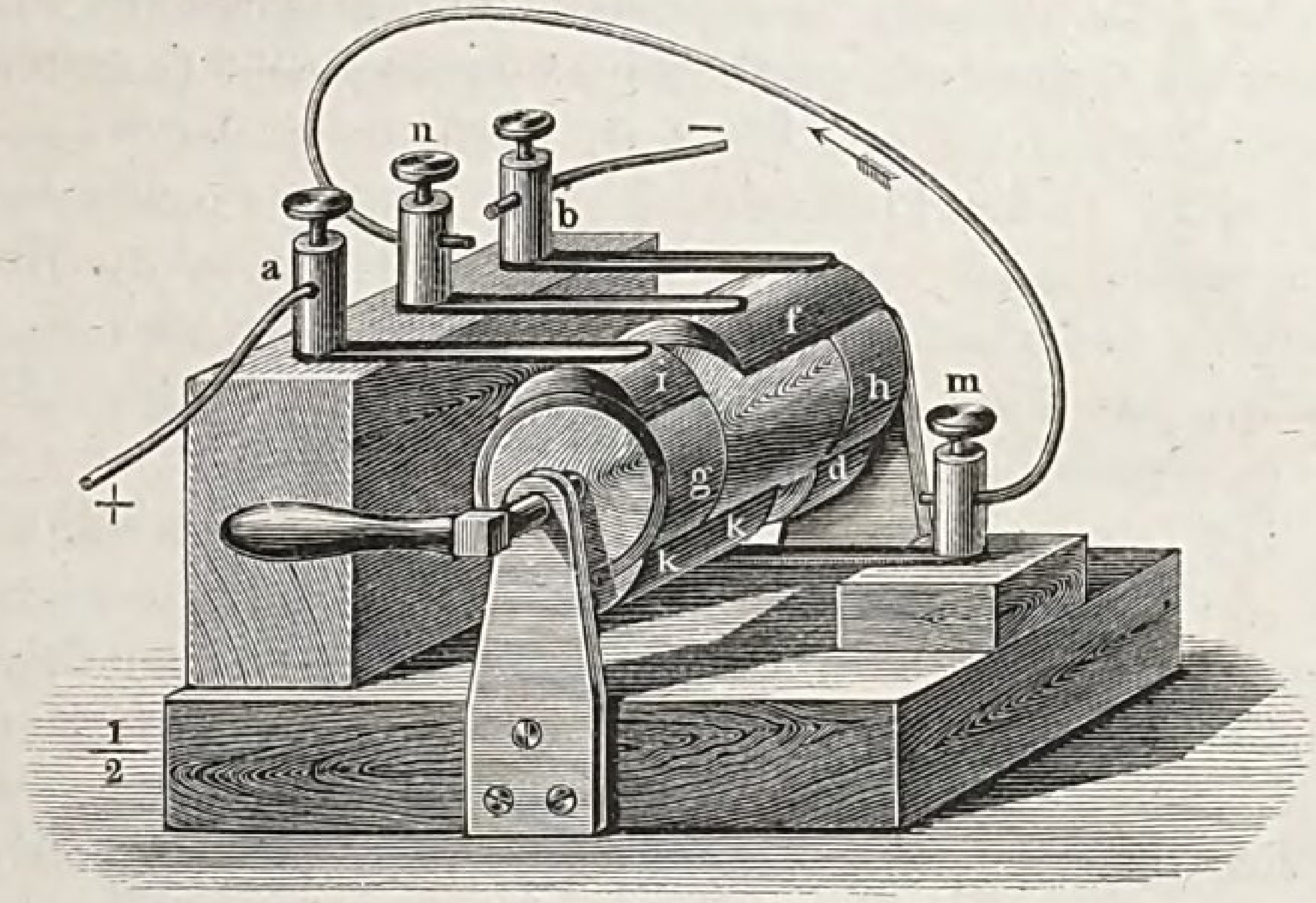


Fig. 273.



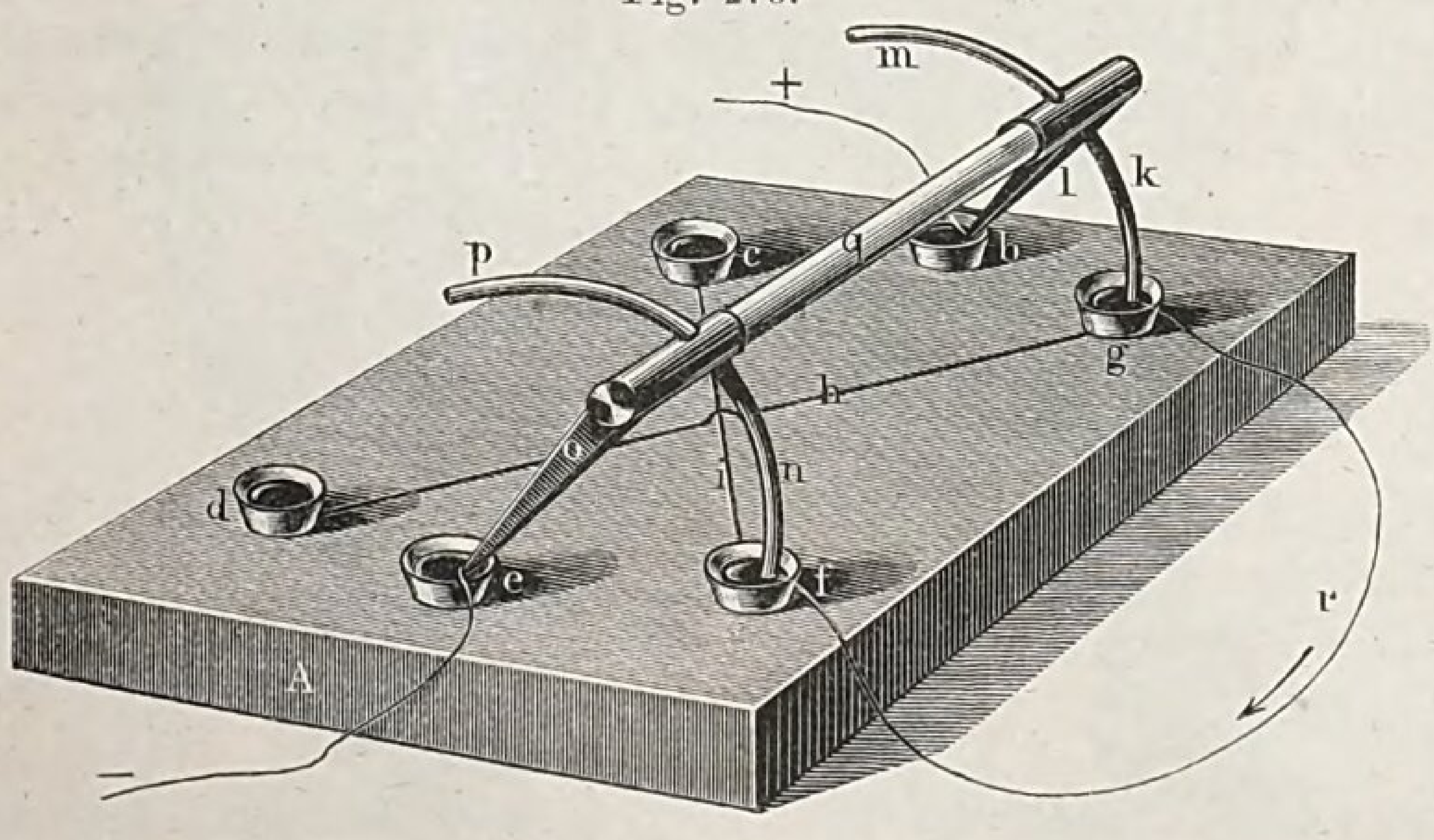
dreiarmige Metallbügel *pon* und *mlk* sind durch den Glasstab *q* mechanisch verbunden. Die Arme *o* und *l* tauchen in zwei weitere Queck-

Fig. 274.



silbernäpfe *e* und *b*, die mit den Poldrähten der Batterie in Verbindung stehen. Je nachdem man die Bügel nach rechts oder links kippt, geht dann der Strom im Drahte *r* von *g* nach *f* oder umgekehrt.

Fig. 275.



Begriff der Stromstärke, Messung derselben durch die chemischen Wirkungen, Voltameter. 93 Unter Stromstärke oder Stromintensität versteht man die Menge der Elektricität, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt eines Leiters hindurchgeht. Um ein relatives Maass der Stromstärke zu gewinnen, muss man solche Wirkungen des Stromes ins Auge fassen, von denen man annehmen kann, dass sie der Stromstärke proportional seien. Eine solche Wirkung ist die Entbindung von Wasserstoff und Sauerstoff aus angesäuertem Wasser.

Wenn man an den beiden Polen einer Volta'schen Säule, etwa einer aus sechs Bunsen'schen Bechern zusammengesetzten, Kupferdrähte befestigt, welche mit Platinplatten von 1 bis 4 qcm Oberfläche endigen, und diese Polplatten, ohne dass sie mit einander in Berührung kommen, in ein Gefäss mit gesäuertem Wasser taucht (ungefähr 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser), so findet alsbald eine lebhafte Gasentwickelung an den Platinplatten statt. An der einen steigt Sauerstoffgas, an der anderen steigt Wasserstoffgas in die Höhe.

Um durch die Gasentwickelung die Stromstärke zu messen, ist es nicht nöthig, das über jeder Polplatte aufsteigende Gas für sich aufzufangen, es genügt, die gemischten Gase zu sammeln.

Fig. 276 stellt einen Apparat dar, wie man ihn zur Zersetzung verdünnter Schwefelsäure anwenden kann, wenn man die entwickelten Gase gemischt auffangen will. Das Glasgefäss wird mit der Säure gefüllt. Durch den Kork, welcher das Gefäss schliesst, gehen zwei Kupferdrähte luftdicht hindurch, an welchen unten zwei Platinplatten angelöthet sind, die sich im Wasser in einiger Entfernung gegenüberstehen. Der Theil der Kupferdrähte, welcher sich innerhalb des Gefässes befindet, so wie die Löthstellen, müssen durch einen Siegellacküberzug vor der Berührung mit der sauren Flüssigkeit geschützt sein.

Bringt man die aus dem Korke hervorragenden Enden der Kupferdrähte durch Zuleitungsdrähte mit den Polen der Säule in Verbindung, so geht der Strom durch das Wasser, die gebildeten Gase steigen auf und entweichen durch das gekrümmte Rohr, welches im Korke steckt.

Fig. 276.

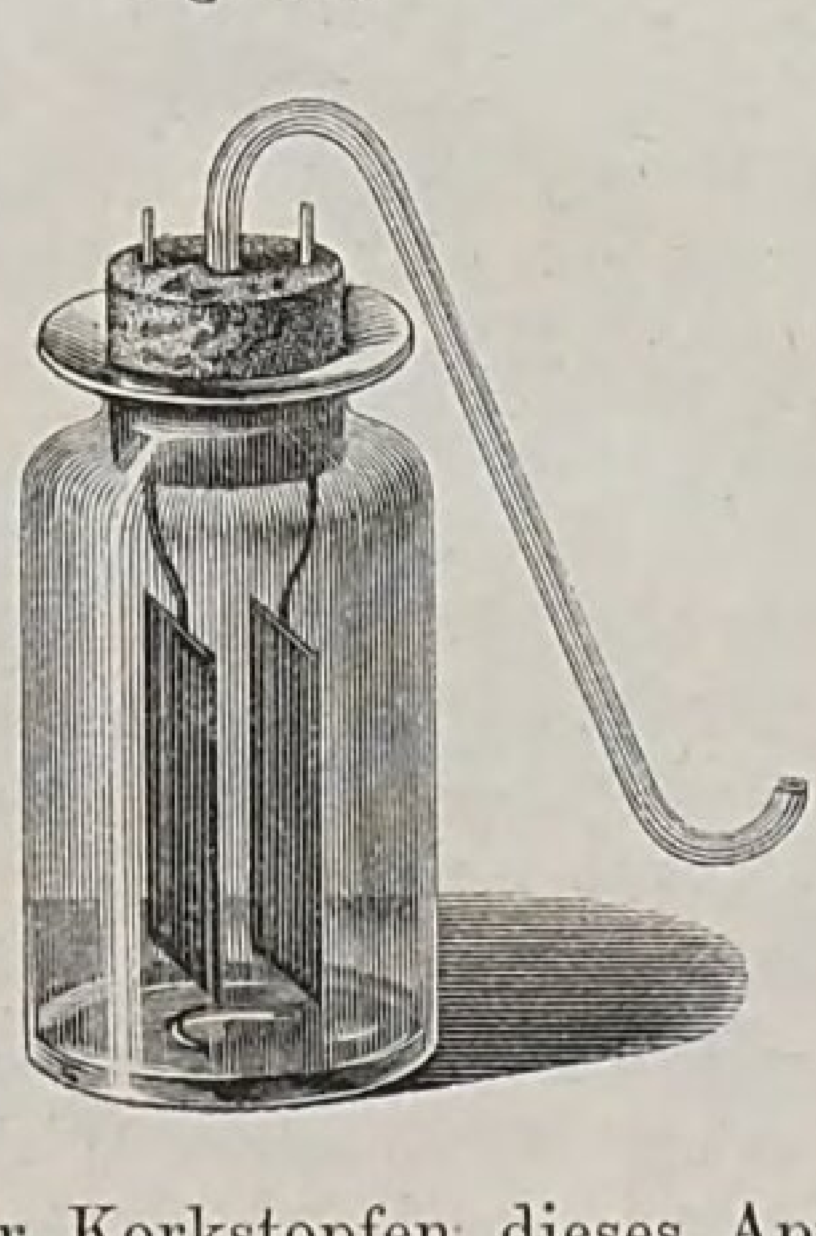
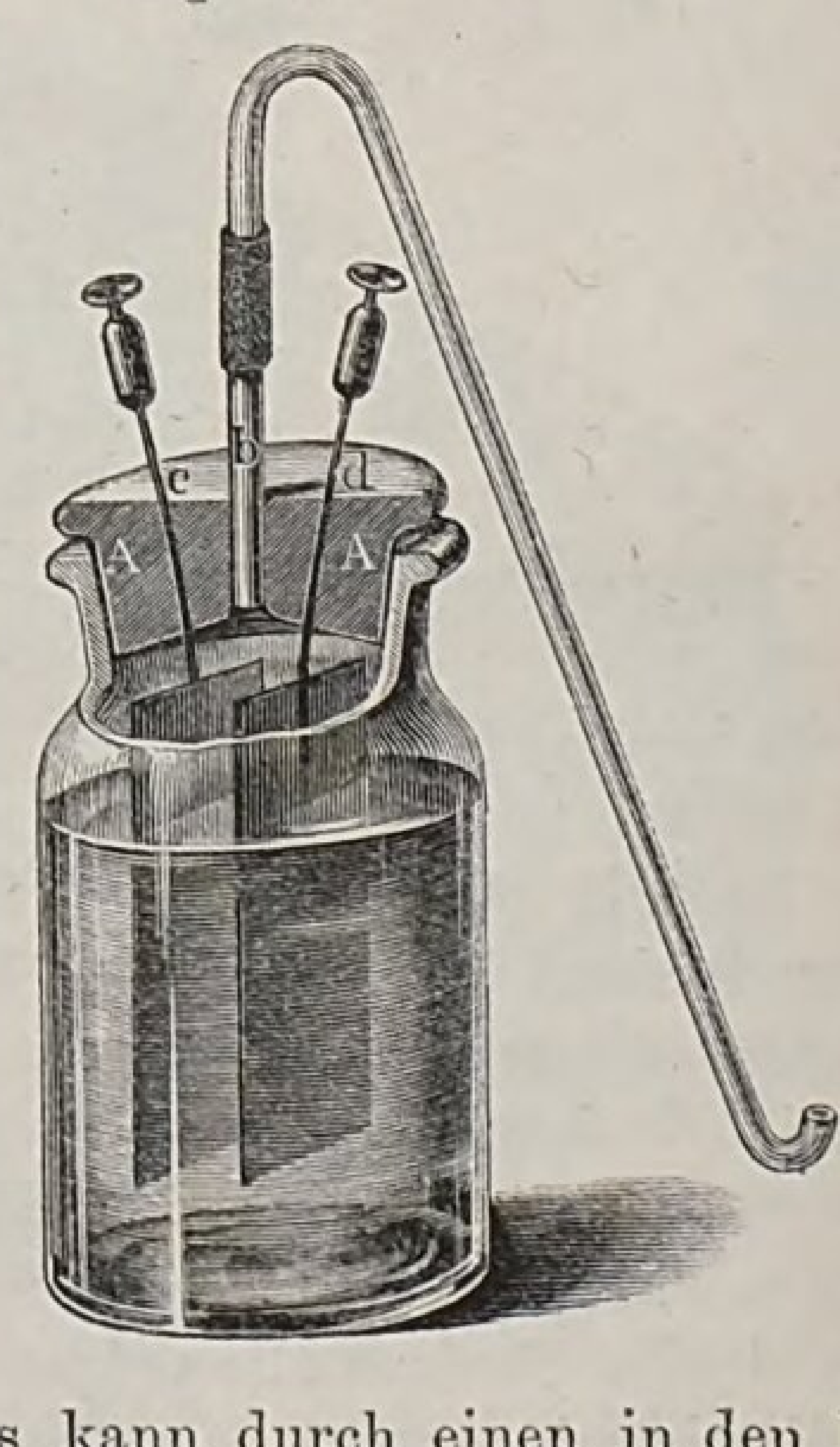


Fig. 277.

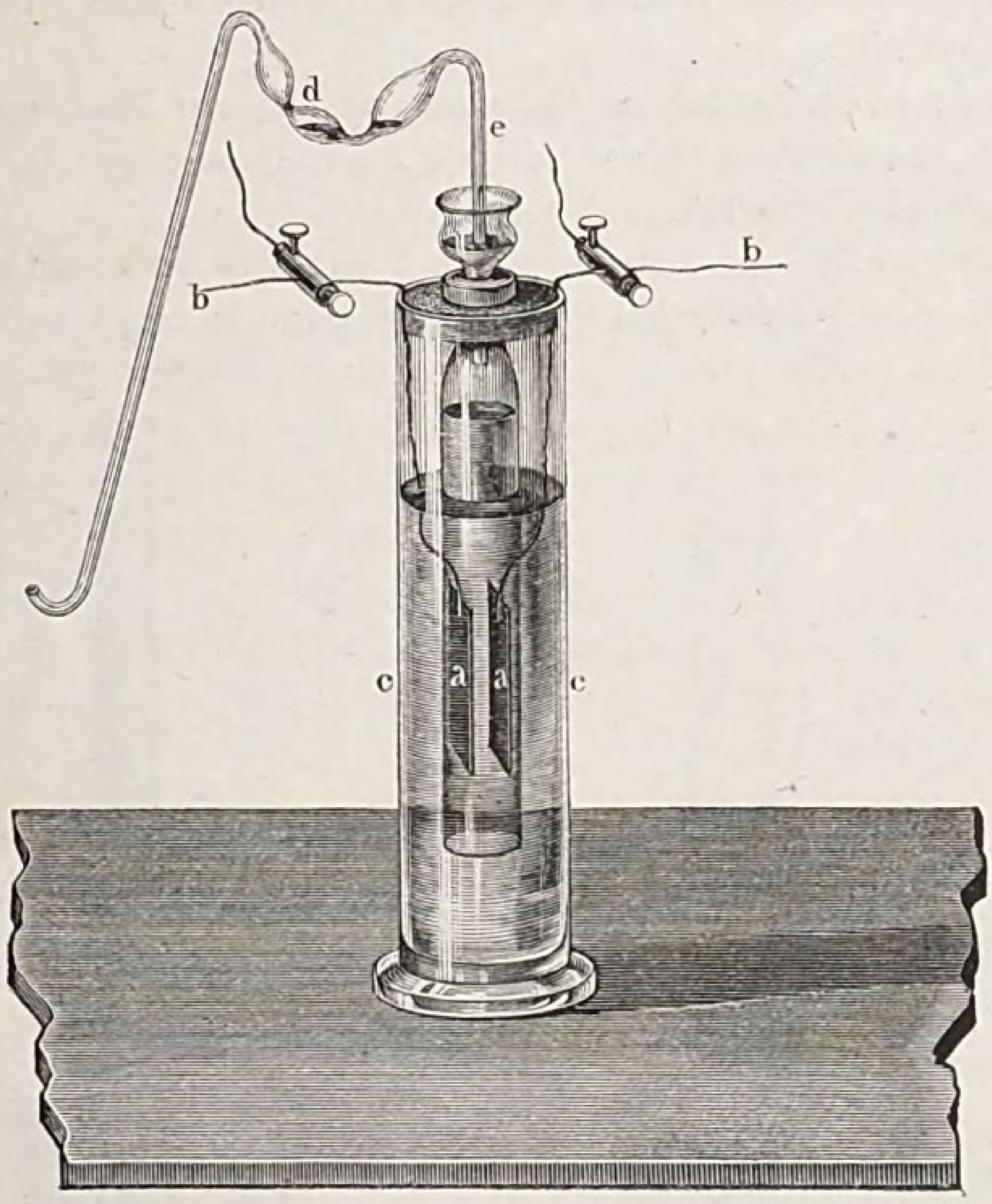


Der Korkstopfen dieses Apparates kann durch einen in den Hals des Gefässes eingeschliffenen Glasstöpsel, Fig. 277, ersetzt werden, in

welchem drei Oeffnungen eingebohrt sind. In die beiden seitlichen Oeffnungen sind die Zuleitungsdrähte, in die mittlere ist das Glasrohr eingekittet.

Zur Entwickelung reinen elektrolytischen Knallgases wendet Bunsen den Zersetzungsapparat Fig. 278 an. Das unten ge-

Fig. 278.



schlossene Glasgefäss, in welchem sich die Platinplatten *a* befinden, ist in ein weiteres etwa mit Weingeist gefülltes Gefäss *c* eingesetzt, dessen Zweck darin besteht, eine allzustarke Erhitzung der Zersetzungsflüssigkeit und der Zuleitungsdrähte zu verhindern. Die aus Platindraht gebildeten Zuleitungsdrähte der Platinplatten *a* sind in der Wand des Zersetzungsgefässes eingeschmolzen. In den oben sich wieder trichterförmig erweiternden Hals des Zersetzungsgefässes ist das Glasrohr *e* eingeschliffen, zum besseren Schluss aber ist etwas Quecksilber in den Trichter gegossen. Bei *d* sind in dem Ableitungsrohr drei Erweiterungen angebracht, welche etwas Schwefelsäure zum Waschen des Gases enthalten.

Um die Gase aufzufangen, welche durch das gekrümmte Rohr entweichen, muss man das untere Ende desselben in ein Gefäss mit Wasser tauchen, und dann über die Mündung des gekrümmten Rohres eine mit Wasser gefüllte graduirte Röhre bringen. Die entweichenden Gase steigen als Blasen in den oberen Theil des Rohres, und das Volumen des in

einer gegebenen Zeit hier gesammelten Gases kann leicht an der Theilung der Röhre abgelesen werden.

Um die graduirte Röhre festzuhalten, kann man sich der in Fig. 279 dargestellten Vorrichtung bedienen. Auf den Boden des Gefässes ist ein Kork aufgekittet, welcher mit einem Einschnitt zur Aufnahme des Rohres versehen ist, durch welches das Gas ausströmt. In Fig. 280 ist dieser Kork, auf welchen das graduirte Rohr aufgesteckt wird, in natürlicher Grösse dargestellt.

Faraday nannte solche Apparate, welche zur Messung der Stromstärke auf chemischem Wege dienen, „Voltameter". Wir wollen diesen Namen beibehalten.

Fig. 281 stellt eine sehr bequeme Form des Voltameters dar, wie dasselbe in den Werkstätten der Société pour la construction d'instruments de physique zu Genf ausgeführt wird. Das graduirte Rohr *g*, welches das von der einen, mit der Klemmschraube *a* verbundenen Polplatte aufsteigende Gas auffängt, ist mittelst eines Kautschukpfropfens in den Hals des Glasgefässes eingesetzt, welches das gesäuerte Wasser enthält. Der obere Theil dieses Glasgefässes steht durch das oben etwas umgebogene Glasröhrchen *f* mit der äusseren Luft in Verbindung. Um das Rohr *g* mit Flüssigkeit zu füllen, braucht man den Apparat nur so umzulegen, dass das Rohr *g* in horizontale Lage kommt und die Oeffnung des Röhrchens *f* gerade nach oben schaut. Ist *g* gefüllt, so wird der Apparat wieder aufgestellt, wie die Figur ihn zeigt.

Fig. 279.

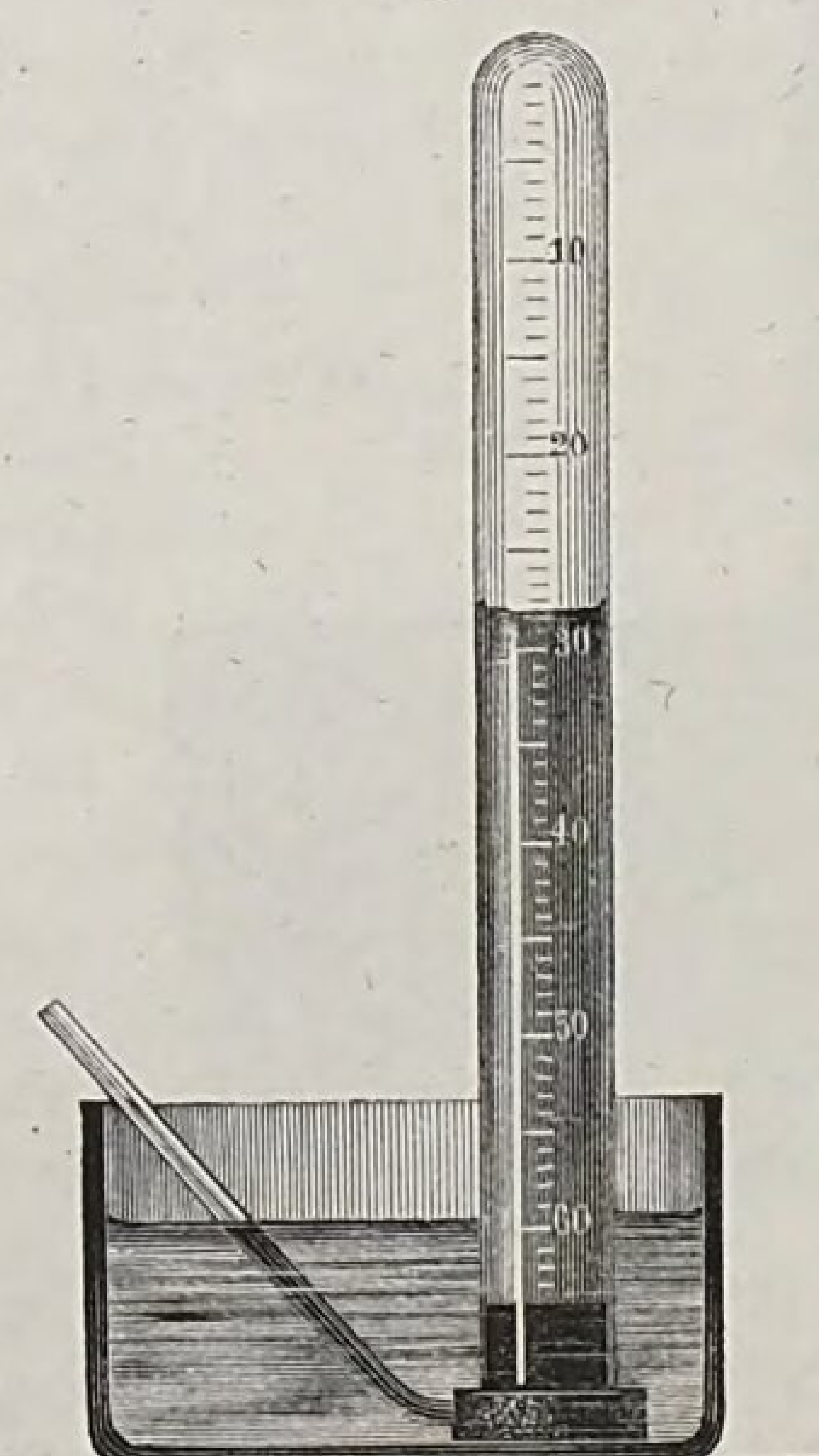


Fig. 281.

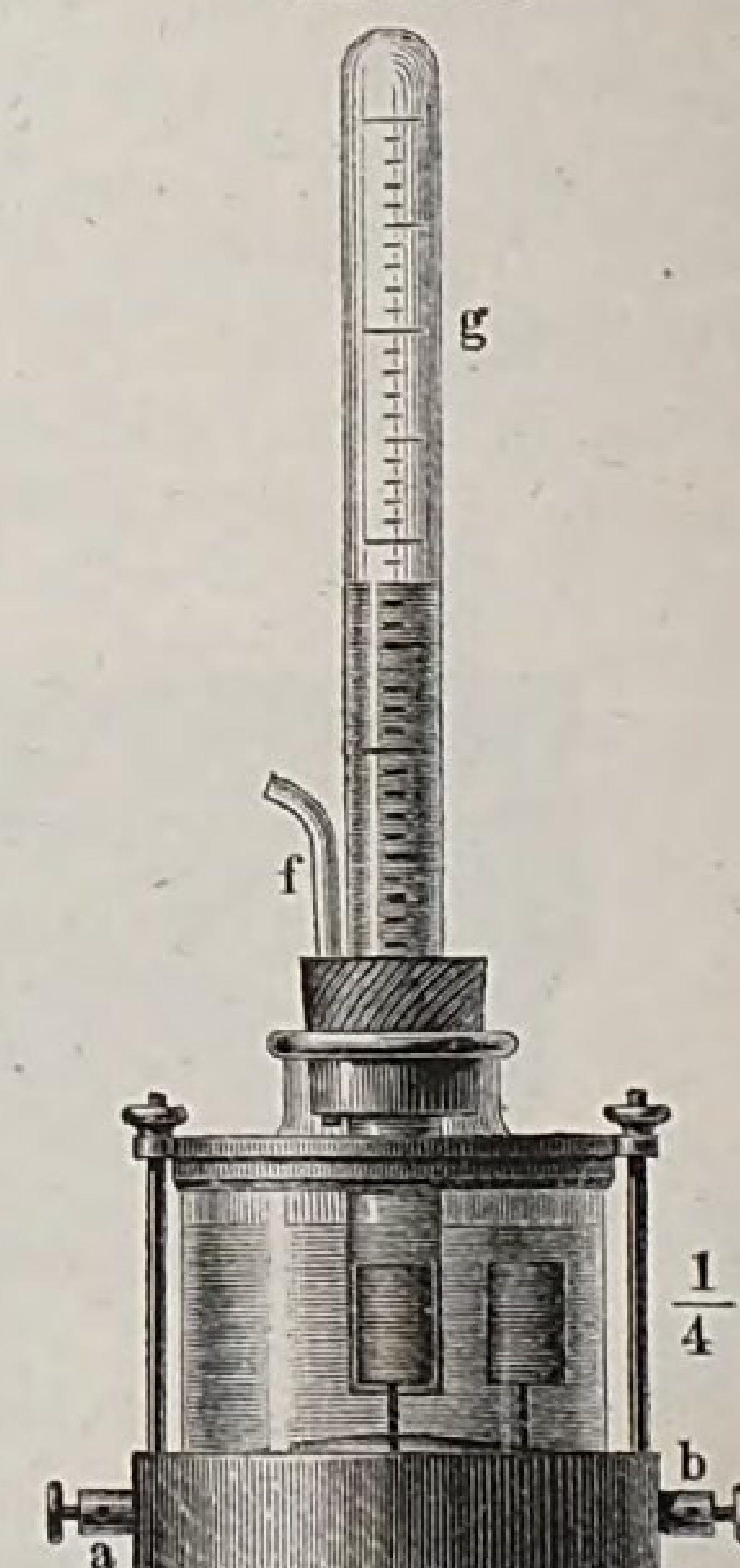


Fig. 280.



Unsere Figur stellt dieses Voltameter in möglichster Einfachheit dar; meist wird es so ausgeführt, dass es von einem Fuss getragen wird, in welchem es um eine horizontale, rechtwinklig zu *ab* stehende Axe gedreht und in horizontale Lage gebracht werden kann, aus welcher es alsdann durch Federn in seine verticale Stellung zurückgeführt wird. In dieser Form führt der Apparat den Namen eines Schaukelvoltameters (voltamètre à bascule).

Wenn es auf grosse Genauigkeit ankommt, muss man das Knallgas nicht über Wasser, sondern über Quecksilber auffangen, und um eine Absorption der entwickelten Gase in der durchströmten Flüssigkeit im Zersetzungsgefässe selbst zu verhindern, muss dieselbe nahe bis zu 100^0 erwärmt sein.

Fig. 282 stellt eine von Mohr angegebene Form des Voltameters dar, welche insbesondere für stärkere Ströme anwendbar ist. *a* ist die Zersetzungszelle, in welche der Strom durch zwei Platinplatten geleitet wird. Die Flüssigkeit ist verdünnte Schwefelsäure. Das entwickelte Gas wird in die Flasche *b* geleitet, die mit Wasser, Chlorcalciumlösung oder Quecksilber gefüllt sein kann. Die nach zwei Seiten in einem rechten Winkel gebogene Glasröhre *c*, Fig. 283, dreht sich in einem Korke, der dicht in einem Tubulus am Boden der

Fig. 282.

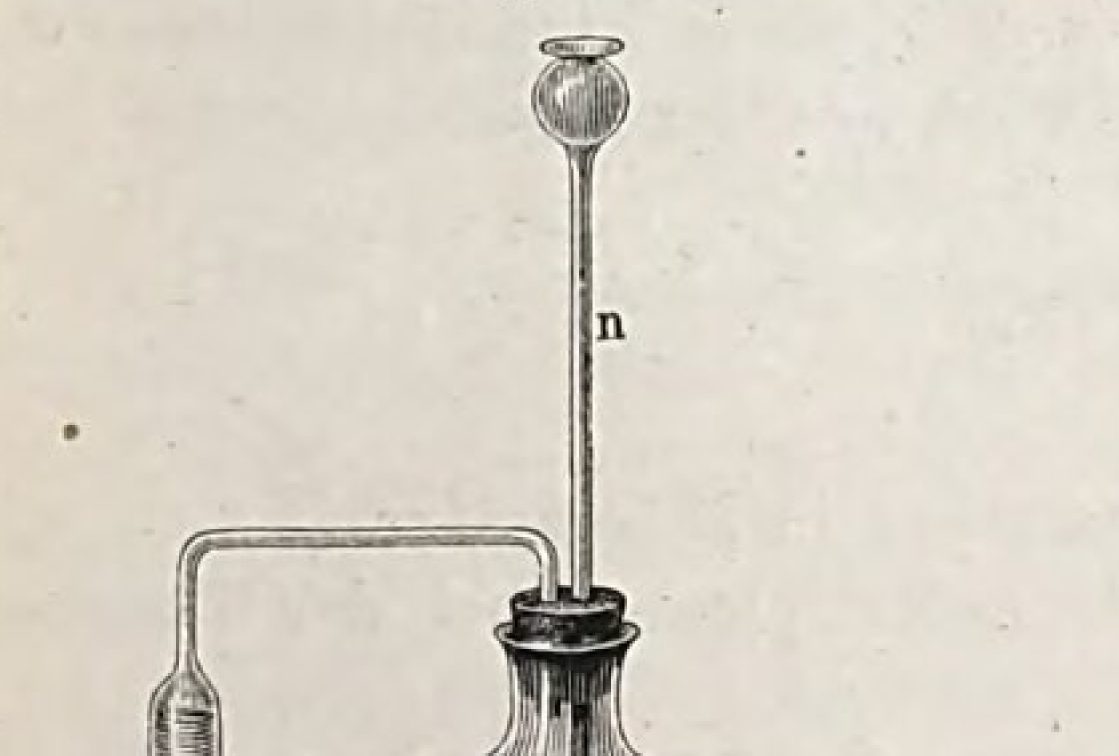


Fig. 283.



Flasche befestigt ist, mit Reibung um, so dass sie in jeder Lage stehen bleiben kann. Der Ausguss dieser Röhre läuft in dem punktirten Kreise *m*, und kann dadurch jede beliebige Höhe annehmen. Wenn dieser Ausguss auf gleicher Höhe mit dem Niveau der Flüssigkeit in der Flasche steht, so ist die Flasche zum Versuche bereit. Die senkrechte Röhre *n* dient zum Erkennen, ob die Spannung der äusseren und inneren Luft gleich ist; in diesem Falle nämlich steht das Niveau der Flüssigkeit innerhalb dieser Röhre genau in der Ebene des Flüssigkeitsspiegels. Die Beobachtung dieses kleinen Punktes inmitten einer horizontalen Wasserfläche schliesst jeden Fehler einer Parallaxe aus. Die Messung findet nun ganz leicht statt. Man schliesst die Kette und bemerkt den Stand der Uhr in diesem Momente. Hat

die Zersetzung eine bestimmte Zeit lang fortgedauert, so unterbricht man den Strom, bringt durch Beugen der Röhre *c* noch so viel Wasser zum Ausfliessen, dass die Spannung der Luft innen und aussen wieder gleich ist, und bestimmt dann die Menge des ausgeflossenen Wassers nach Volumen oder Gewicht.

Um die gemessenen Gasvolumina vergleichbar zu machen, muss man sie stets auf gleichen Druck und gleiche Temperatur reduciren. Man reducirt die Gasvolumina auf eine Temperatur von 0^0 und einen Druck von 760 mm Quecksilber.

Wir wollen nach Jacobi's Vorschlag **als Einheit der Stromstärke einen Strom annehmen, welcher in einer Minute 1 cbcm Knallgas von der eben bezeichneten Dichtigkeit liefert.**

Diese Reduction erfolgt nach den in der Wärmelehre abgeleiteten Regeln nach der Formel

$$v_0 = \frac{v}{1 + 0{\cdot}003668\,t} \cdot \frac{H}{760},$$

worin v das abgelesene Volum, t die Celsiustemperatur des Gases und H den Druck in Millimetern bedeutet, unter dem das Gas steht. Dieser Druck H muss selbst auf folgende Weise berechnet werden. Ist nämlich das Gas in einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Recipienten aufgefangen, und steht, wie in Fig. 279, diese Flüssigkeit inwendig höher als aussen, so erhält man den Druck aus der Formel

$$H = b - h\,\frac{d}{13{\cdot}6} - f,$$

worin bedeuten:

b den auf 0^0 reducirten Barometerstand in Millimetern,

h die Ueberhöhe der Flüssigkeit im Recipienten bei der Messung von v in Millimetern,

d die Dichte der angewandten verdünnten Schwefelsäure,

f die Spannkraft der Flüssigkeitsdämpfe im Recipienten in Millimetern (man kann dieselbe für 20 procentige Säure $= \frac{9}{10}$ von der Maximalspannkraft des reinen Wassers bei derselben Temperatur setzen).

Da bei schwachen Strömen durch Ozonbildung und Absorption desselben durch das Wasser leicht ein Sauerstoffverlust stattfindet, so ist es genauer, nur den Wasserstoff aufzufangen und dessen Volum mit $\frac{3}{2}$ zu multipliciren, um das des Knallgases zu erhalten.

Es sei beispielsweise beobachtet worden:

Dauer des Stromes = 10 Minuten.

Volum des Wasserstoffs = 15·2 cbcm, entsprechend 22·8 cbcm Knallgas.

Temperatur = 14^0.

Barometerstand = 752·8 mm.

Ueberhöhe der Flüssigkeit im Recipienten = 25 mm.

Dichte der angewandten Schwefelsäure = 1·14, entsprechend 20 procentiger Säure.

Wir berechnen zuerst den Druck H. Da die Tension des Wassers bei 14^0 = 11·9 mm, so ist jene der Säure $f = 0·9 \times 11·9 = 10·7$ mm.

$$\text{Da } d = 1·14, \text{ so ist } h \frac{d}{13·6} = 25 \frac{1·14}{13·6} = 2·1 \text{ mm},$$

mithin ist

$$H = 752·8 - 2·1 - 10·7 = 740 \text{ mm}.$$

Das reducirte Volum des binnen zehn Minuten entwickelten Knallgases ist also:

$$v_0 = \frac{22·8 \,.\, 740}{(1 + 0·003668 \,.\, 14) \,.\, 760} = \frac{16872}{799} = 21·12 \text{ cbcm}.$$

Mithin ist das Volum des per Minute entwickelten Gases = 2·112, oder die Stromstärke im chemischen (Jacobi'schen) Maasse ist gleich 2·112.

Man kann das entwickelte Gas, oder was dasselbe sagt, die Menge des durch die Zersetzung entführten Wassers auch nach dem Gewichte bestimmen, indem man dafür sorgt, dass das entweichende Gas durch eine Trockenröhre streicht, damit kein Wasserdampf mitgeht und das im Uebrigen verschlossene Voltameter, welches dann keine Messröhre enthält, vor und nach dem Versuche wiegt. Da 1 cbcm Knallgas im Normalzustand 0·5363 mg entspricht, so wäre in unserem Beispiele die so berechnete Stromstärke gleich

$$2·112 \times 0·5363 = 1·13.$$

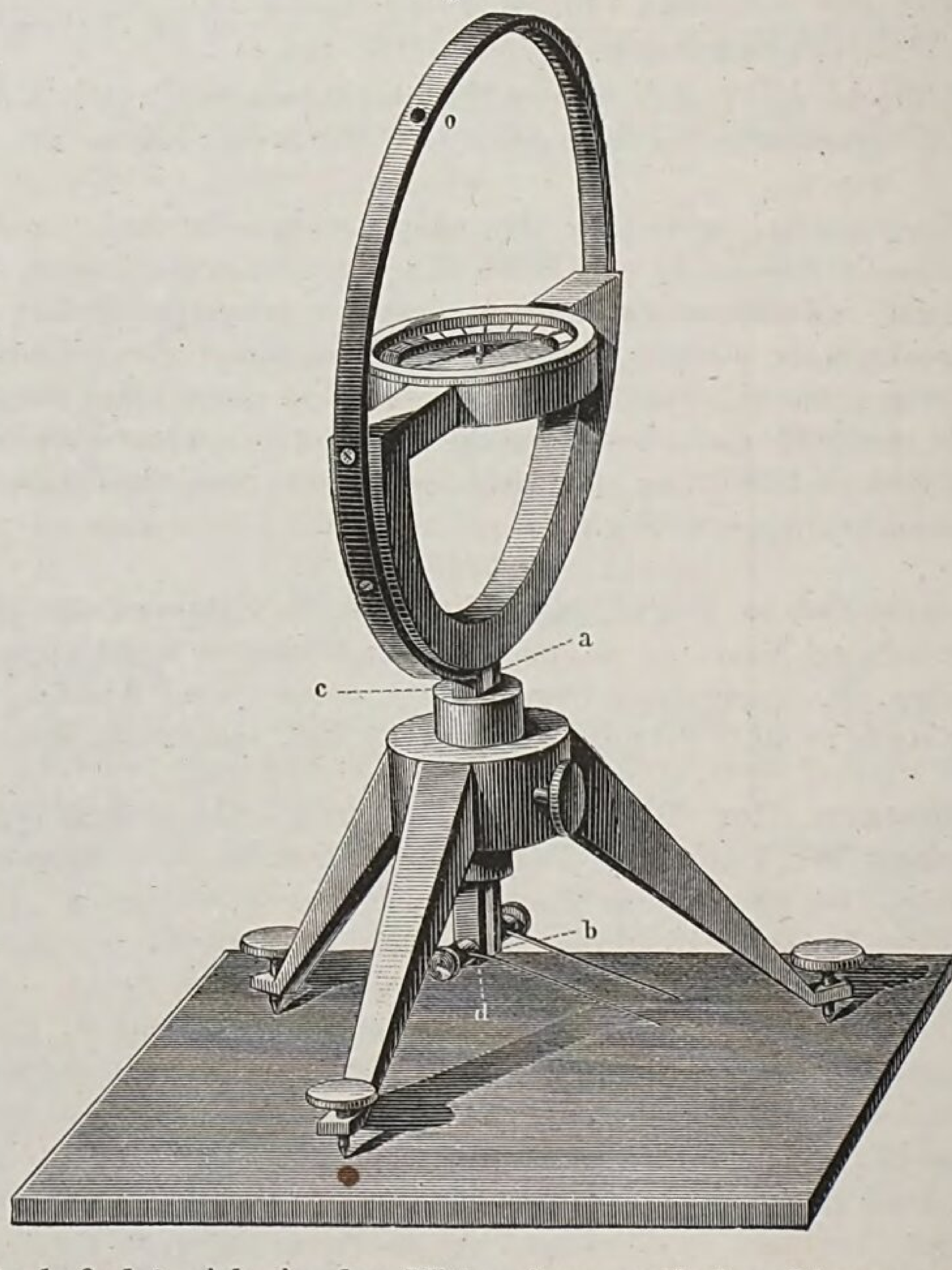
Siemens endlich hat vorgeschlagen, die Anzahl Milligramme entwickelten Wasserstoffs als Maass zu wählen. Dieses Maass ist 9 mal kleiner als das vorige, die gemessenen Stromstärken werden also 9 mal so gross. Vom Kupfer- und Silbervoltameter soll später die Rede sein.

Messung der Stromstärke durch die elektromagnetischen Wirkungen. Tangentenbussole. 94 Die Messung der Stromstärke auf chemischem Wege ist nicht immer ausführbar. Einmal giebt diese Methode nicht die momentane Stromstärke in einem bestimmten Augenblicke an, sondern nur den mittleren Betrag während der Versuchsdauer; dann ist noch insbesondere zu bedenken, dass die Einschaltung eines Voltameters in einen Stromkreis wegen des grossen Widerstandes den Strom bedeutend schwächen kann und man also wenigstens direct nicht die Stärke des Stromes in dem ursprünglichen Stromkreise, sondern nur jene nach Einschaltung des Stromes zu bestimmen vermag.

Man muss sich also noch nach anderen Rheometern umsehen, und diese werden uns durch die magnetischen Wirkungen des Stromes geliefert, welche später ausführlich besprochen werden und von denen hier nur vorläufig in so weit Erwähnung geschicht als nothwendig ist, um zu zeigen, wie sie zur Messung der Stromstärke dienen können.

Wenn man den galvanischen Strom mittelst eines Leitungsdrahtes in der Nähe einer Magnetnadel vorbeiführt, so wird dieselbe aus ihrer durch den Erdmagnetismus bedingten Gleichgewichtslage abgelenkt. Dasselbe findet insbesondere dann statt, wenn man den Strom in einem vertical stehenden Kreise um dieselbe herumführt. In diesem Falle aber findet zwischen der Stromstärke und der Grösse der Ablenkung eine einfache, sogleich näher zu besprechende Beziehung statt, welche W. Weber zur Construction seiner Fig. 284 in etwas veränderter Form dargestellten Tangentenbussole anwandte. Eine

Fig. 284.



Bussole befindet sich in der Mitte eines verticalen Ringes, welcher durch einen dicken Kupferstreifen oder cylindrischen Kupferring gebildet wird. Unten endet der Kupferring mit zwei geraden Kupferstreifen ab und cd, welche durch ein zwischen dieselben gelegtes Stück Hartgummi oder Elfenbein von einander isolirt sind. Jedes dieser gerade

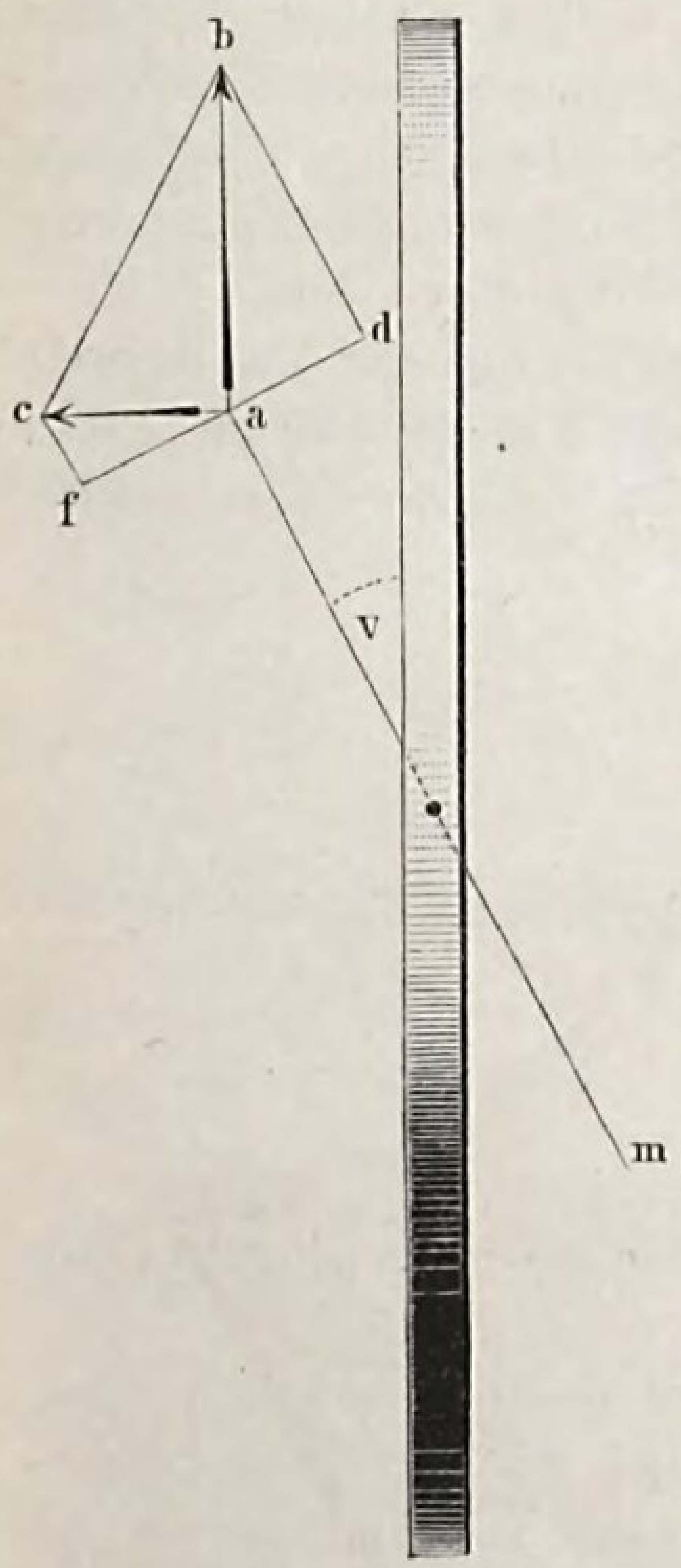
ausgestreckten Enden des kreisförmig gebogenen Streifens trägt unten eine Schraubklemme zum Einschrauben der Zuleitungsdrähte.

Der Apparat wird so festgestellt, dass der Kupferring in der Ebene des magnetischen Meridians liegt; natürlich befindet sich in diesem Falle die Nadel in der Verticalebene des Ringes und zeigt auf den Nullpunkt ihrer Theilung; sobald aber ein Strom durch den Kupferring geht, wird die Nadel abgelenkt, und zwar ist die Stärke des Stromes der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels proportional, weshalb denn auch dies Instrument den Namen der Tangentenbussole führt.

Dieser Zusammenhang zwischen der Stromstärke und dem Ablenkungswinkel ergiebt sich aus folgender Betrachtung.

In Fig. 285 stelle der schattirte Streifen den Ring von oben gesehen, am die durch den Strom abgelenkte Nadel dar, welche hier freilich etwas zu gross gezeichnet ist, um die Figur nicht undeutlich zu machen. Wenn die Nadel klein ist gegen den Durchmesser des Kreises, so ist die Spitze der abgelenkten Nadel nicht merklich weiter aus der Ebene des Kupferringes entfernt, als wenn sie gar nicht abgelenkt wäre, man kann also die Zunahme dieser Entfernung ganz unberücksichtigt lassen.

Fig. 285.



Es greifen nun aber an der Spitze der Nadel zwei Kräfte an; die magnetische Erdkraft ab, in der Richtung des magnetischen Meridians wirkend, strebt die Nadel in die Ebene des Ringes zurückzuführen, der Strom aber hat ein Bestreben, die Nadel rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, er wirkt in der Richtung ac auf die Spitze der Nadel. Die rechtwinklig auf die Richtung der Nadel wirkenden Seitenkräfte von ab und ac sind nun ad und af; die Nadel wird in Ruhe sein, wenn $ad = af$. Nun ist Winkel $caf =$ dem Ablenkungswinkel v der Nadel, weil ca auf dem magnetischen Meridian, af auf der Nadel rechtwinklig steht, folglich ist $af = ac \,.\, \cos v$. Ferner ist auch der Winkel $abd = v$, weil ab mit dem magnetischen Meridian und bd mit der Nadel parallel ist, und demnach ist $ad = ab \,.\, \sin v$; da aber für den Fall des Gleichgewichts $ad = af$, so ist

$$ac \,.\, \cos v = ab \,.\, \sin v$$

oder

$$ac = ab \cdot tang\, v,$$

oder endlich

$$S = R \cdot tang\, v,$$

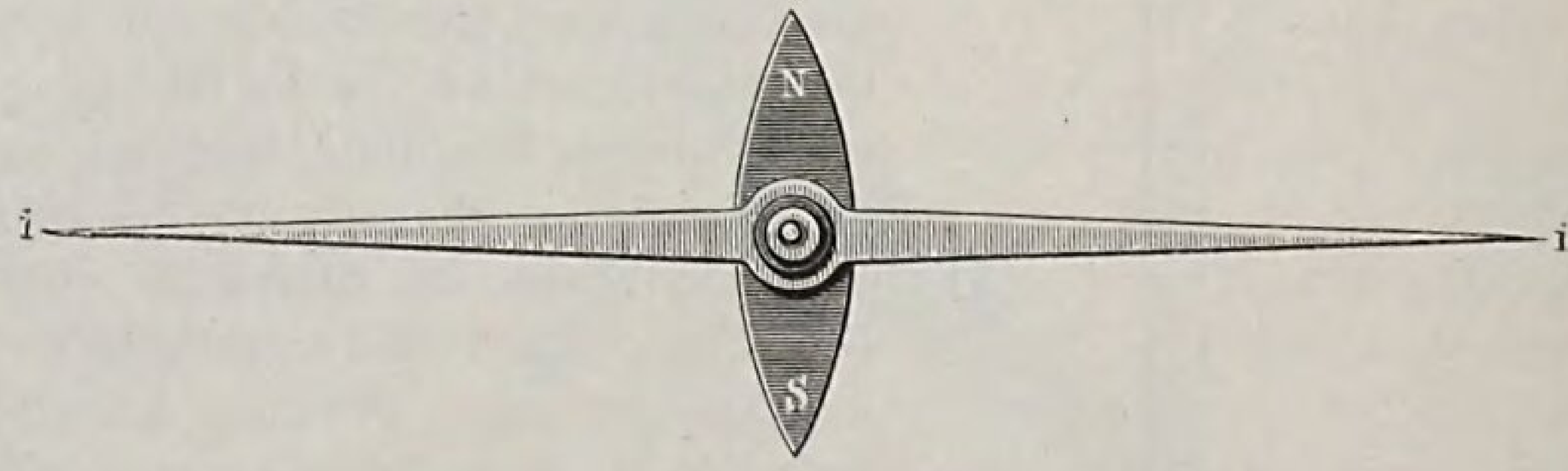
wenn man mit S die Stromkraft ac, mit R die magnetische Erdkraft ab bezeichnet. Es ist also bei diesem Instrumente in der That die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, wie bereits oben bemerkt wurde.

Die Magnetnadel kann etwa 3 bis 4 cm lang sein und der Durchmesser des Ringes 20 bis 40 cm betragen.

Die Länge der Nadel darf höchstens $\frac{1}{5}$ des Ringdurchmessers betragen; je kleiner sie im Vergleich zu diesem ist, desto genauer ist die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Je kleiner aber die Nadel wird, desto kleiner wird auch die Theilung, auf welcher man die Ablenkung abliest, wenn der Radius des getheilten Kreises der halben Länge der Nadel gleich ist. Um aber, wenn grosse Genauigkeit gefordert wird, eine kleine Nadel mit einem grossen Theilkreise zu verbinden, befestigt man an der Nadel feine Glasfäden, wo möglich von dunkelfarbigem Glase, so dass sie in der Verlängerung der magnetischen Axe der Nadel liegen und bis zu der Theilung hinreichen.

Noch zweckmässiger ist es nach Siemens, den aus Aluminiumblech verfertigten Index rechtwinklig zur kurzen Magnetnadel zu befestigen, wie Fig. 286 zeigt. Den Nullpunkt der Theilung hat man alsdann in

Fig. 286.



demjenigen Punkte des Kreisumfangs anzubringen, welcher um 90° von der Ebene des Ringes absteht.

Eine sehr genaue Ablesung wird auch dadurch möglich, dass der Boden der Bussole ein Spiegel ist; das Auge ist nur dann in der zum Ablesen richtigen Stellung, wenn die Spitze der Nadel mit ihrem Spiegelbilde zusammenfällt.

Die in Fig. 284 Seite 288 dargestellte Einrichtung der Tangentenbussole hat den Nachtheil, dass die Starrheit der in a und b eingeklemmten Zuleitungsdrähte eine genaue Einstellung der Nadel auf den Nullpunkt sehr erschwert, wenn nicht unmöglich macht. Es wird deshalb von Manchen die ursprüngliche Einrichtung Weber's vorgezogen, nach welcher die beiden vertical herabgehenden Enden des Kupferringes in

getrennte Quecksilbergefässe geleitet werden, mit denen die Zuleitungsdrähte in passender Weise in Verbindung gesetzt werden.

Um der Magnetnadel eine grössere Beweglichkeit zu sichern, hat man dieselbe wohl auch an einem Coconfaden aufgehängt, statt sie mittelst eines Achathütchens auf einer Stahlspitze spielen zu lassen. Diese Aufhängung empfiehlt sich aber mehr für feinere Instrumente, bei welchen mit Spiegel und Scala abgelesen wird.

Was die Richtung betrifft, nach welcher die Magnetnadel in der Tangentenbussole abgelenkt wird, so ist sie stets durch das folgende einfache Gesetz bestimmt: Das Südende der Nadel tritt stets nach der Seite aus der Ebene des stromleitenden Ringes hervor, von welcher aus gesehen der Strom in gleicher Richtung kreist, wie der Zeiger einer Uhr.

Wir werden auf dieses Gesetz später noch ausführlicher zurückkommen.

Ist durch einen Strom im Ringe der Tangentenbussole die Nadel nach einer Seite hin abgelenkt worden, so wird mit dem Umkehren der Stromesrichtung im Ringe der Tangentenbussole auch die Nadel nach einer der ersteren entgegengesetzten Seite abgelenkt werden.

Vergleichung der Tangentenbussole mit dem Voltameter. 95 Der Leitungswiderstand der im vorigen Paragraphen beschriebenen Tangentenbussole ist so gering, dass sie fast immer ohne merkliche Schwächung des Stromes in den Schliessungsbogen eingeschaltet werden kann. Dagegen sind die Angaben verschiedener Instrumente der Art nicht direct mit einander vergleichbar. Die Ablenkung, welche ein durch den Ring einer Tangentenbussole geleiteter Strom hervorbringt, ändert sich mit dem Durchmesser dieses Ringes, sie variirt also von einem Instrumente zum andern, wenn die Ringe derselben ungleiche Durchmesser haben. Ja ein und dasselbe Instrument wird an verschiedenen Orten bei gleicher Stromstärke nicht gleiche Ablenkung geben, weil von einem Orte der Erdoberfläche zum anderen die Kraft sich ändert, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuziehen strebt, wenn sie aus demselben entfernt worden ist. Diesem Uebelstande kann aber auf eine höchst einfache Weise abgeholfen werden, indem man die Angaben der Bussole direct mit denen eines Voltameters vergleicht.

Um die Ablenkungen einer Tangentenbussole mit der chemischen Wirkung des Stromes zu vergleichen, muss man in den Schliessungsbogen einer Säule gleichzeitig die Tangentenbussole und das Voltameter einschalten und die durch den Strom in beiden Instrumenten hervorgebrachten Wirkungen mit einander vergleichen. Eine solche Versuchsreihe, bei welcher als Rheomotor eine aus Bunsen'schen Bechern gebildete Säule angewendet wurde, gab folgende Resultate:

Zahl der Erregungszellen	Ablenkung	Entwickelte und reducirte Gasmengen in 3 Minuten
12	28·5°	125 cbcm
8	24·8	106
6	22·0	92·5
4	18·75	78
3	13·75	56
2	6·9	23·7

Die Reduction der aufgeführten Gasmengen wurde nach den Angaben im §. 93 ausgeführt.

Während eines jeden Versuches, d. h. während der drei Minuten, innerhalb welcher das Gas aufgefangen wurde, schwankte die Nadel nur sehr wenig; sie ging regelmässig zurück, doch war der Rückgang in 3′ höchstens $\frac{1}{2}$ °; die Gradzahlen der obigen Tabelle sind stets das Mittel aus den zu Anfang und zu Ende der drei Minuten abgelesenen Winkeln.

Der Quotient, welchen man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels in die entsprechende Gasmenge einer Minute dividirt, sollte eigentlich eine constante Grösse sein, welche angiebt, wie viel Gas in der Minute durch einen Strom entwickelt wird, der an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 45° hervorbringt (weil $tang$ 45° = 1). Aus den verschiedenen der oben mitgetheilten Versuche ergiebt sich nun folgender Werth dieses Quotienten:

Nummer der Beobachtung	Quotient
1	76·7
2	76·5
3	76·2
4	76·6
5	76·3
6	76·6
Mittel	76·5

Nach chemischem Maass ist also die Stärke eines Stromes, welcher an jener Tangentenbussole eine Ablenkung von v^0 hervorbringt,

$$S = 76{\cdot}5 \,.\, tang\, v.$$

Gesetzt also z. B., ein Strom brächte an unserer Tangentenbussole eine Ablenkung von 54^0 hervor, so würde dieser Strom, wenn er in gleicher Stärke durch ein Voltameter ginge, $76{\cdot}5 \,.\, tang\ 54^0 = 76{\cdot}5 \times 1{\cdot}376 = 105{\cdot}26$ cbcm Knallgas von 0^0 und einem Druck von 760 mm in einer Minute geliefert haben.

Hat man einmal nach der eben erwähnten Methode den Reductionsfactor einer Tangentenbussole ermittelt, so kann man mittelst desselben jede an derselben gemachte Beobachtung leicht in chemischen Effect umsetzen, oder, mit anderen Worten, nach dem an der Tangentenbussole abgelesenen Winkel die Stromstärke in chemischem Maasse ausgedrückt angeben.

Es versteht sich von selbst, dass dieser Reductionsfactor immer nur für ein specielles Exemplar einer Tangentenbussole gelten kann, und dass er selbst für dieses specielle Instrument nur so lange gilt, als man die Versuche an demselben Orte anstellt. Brächte man z. B. die Bussole von Freiburg nach Marburg, so würde der Reductionsfactor einen geringeren Werth erhalten, weil die horizontale Intensität des Erdmagnetismus in Marburg geringer ist als in Freiburg.

Gleichheit der Stromintensität an allen Stellen des Stromkreises. 96 Nachdem wir in den vorausgehenden Paragraphen Methoden kennen gelernt haben, um Stromstärken zu messen, wollen wir nun untersuchen, wie sich die Stromintensität in verschiedenen Theilen eines Schliessungskreises verhält und von welchen Umständen sie abhängig ist. Dabei denken wir uns vor der Hand einen einzigen in sich geschlossenen ungetheilten Stromkreis, wie er erhalten wird, wenn man die Pole eines Elementes oder einer Batterie durch eine Reihe von Leitern schliesst, deren jeder für sich einen constanten Querschnitt hat.

Man könnte von vornherein glauben, dass die Stromintensität in der Nähe der Pole grösser sei als an entfernteren Stellen des Schliessungskreises. Dass dies aber nicht der Fall ist, hat zuerst Barlow 1825 durch einen einfachen Versuch gezeigt, den wir etwa in folgender Weise wiederholen können.

Wir verbinden die Pole $+P$ und $-P$ einer Batterie (Fig. 287 a. f. S.) durch einen langen Draht, den wir so anordnen, dass die Theile ab, cd und ef desselben, welche beiden Enden und der Mitte desselben angehören, in der Richtung des magnetischen Meridians horizontal ausgespannt sind. Legen wir dann nach einander in gleicher Höhe unter ab, cd und ef eine Bussole oder schalten wir an diesen Stellen eine Tangentenbussole ein, so wird deren Nadel an allen drei Stellen gleich stark abgelenkt, ein Beweis, dass der Strom in allen Theilen gleiche Intensität besitzt. Wir könnten auch ein Voltameter einmal zwischen a und b,

dann zwischen c und d, e und f einschalten und würden, wenn sonst der Strom constant blieb, jedesmal die gleiche Anzahl Cubikcentimeter Knallgas entwickelt sehen. Dies würde auch dann der Fall sein, wenn

Fig. 287.

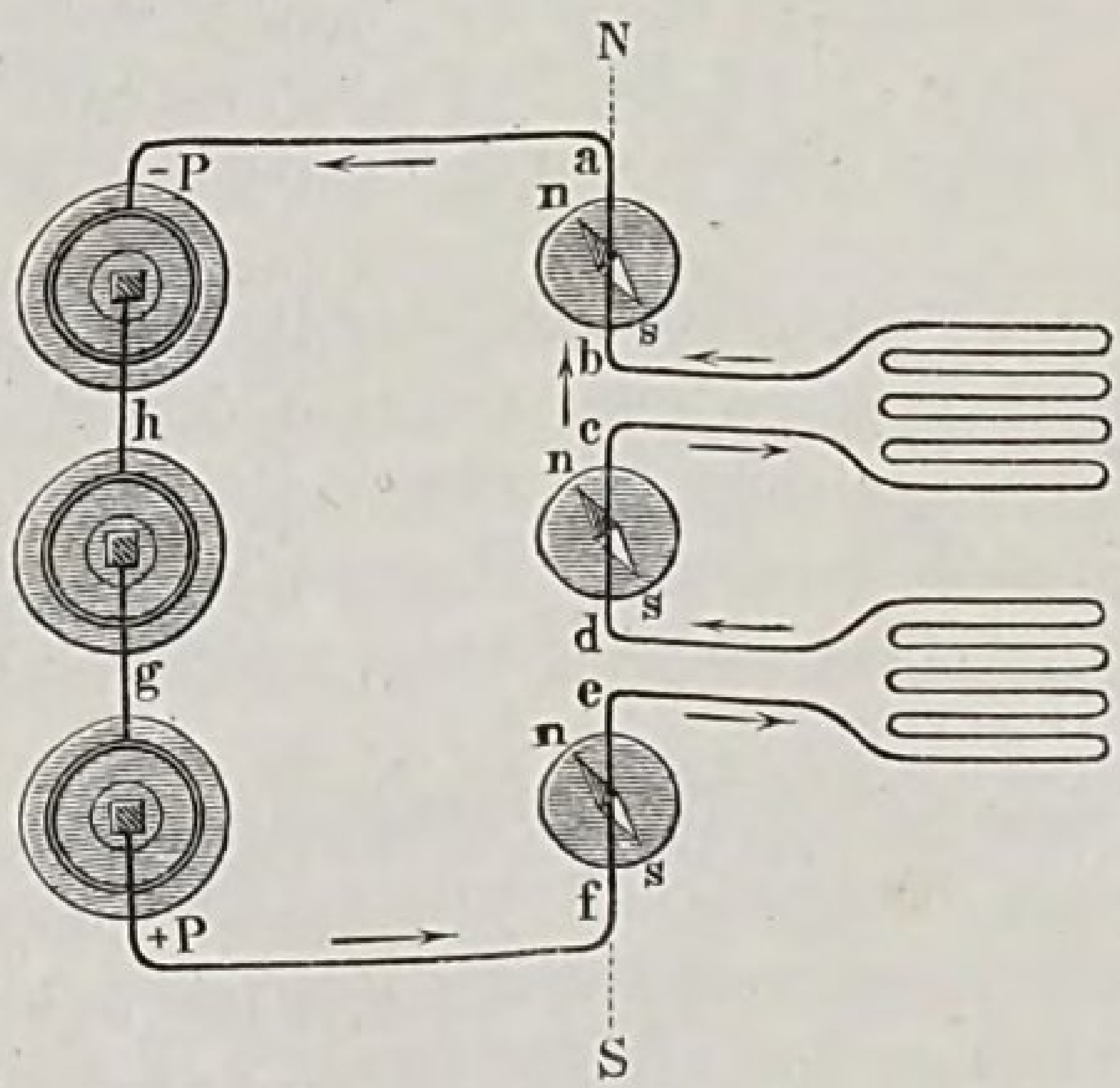


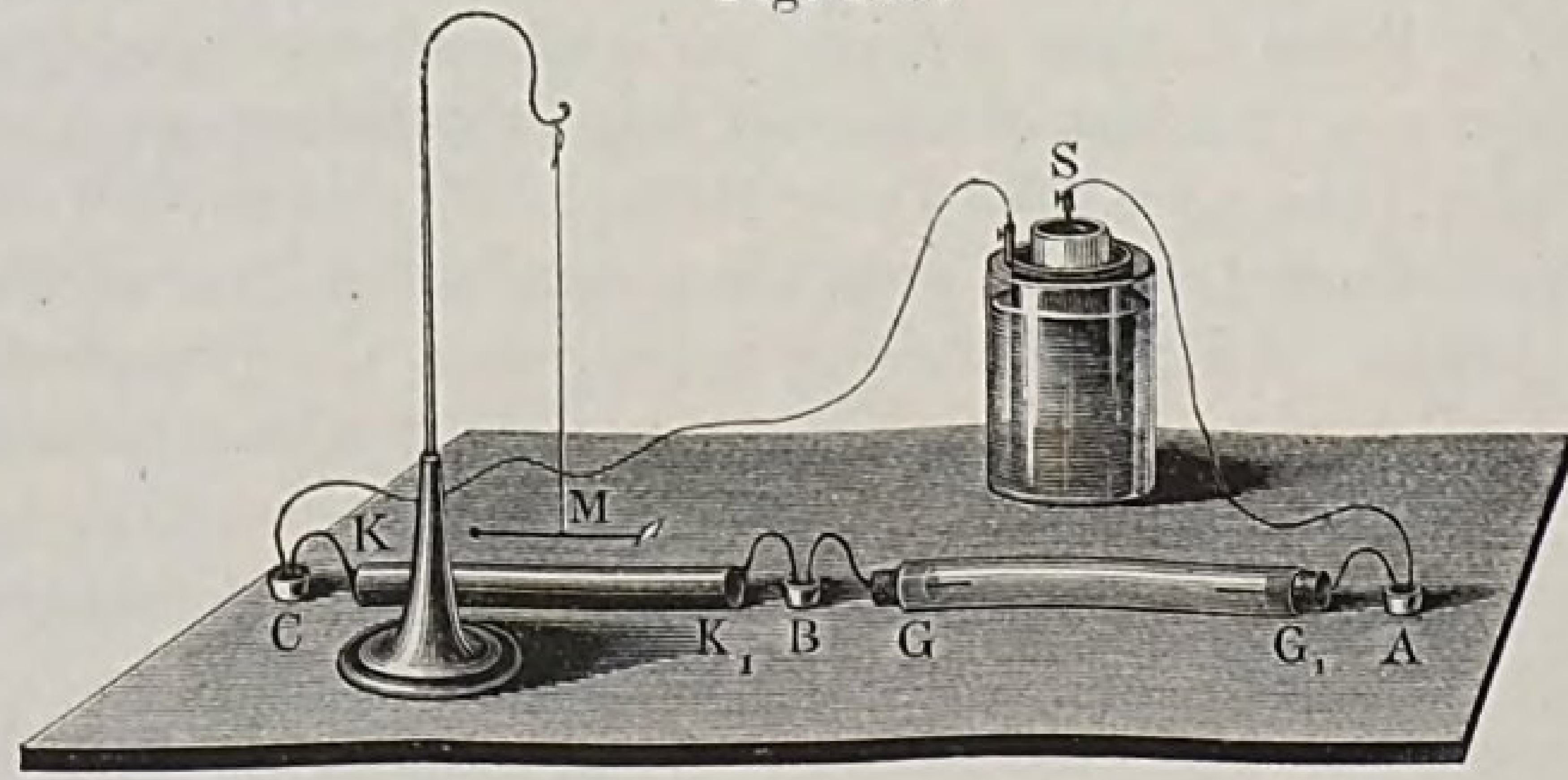
Fig. 288.



wir das Voltameter irgendwo zwischen den einzelnen Elementen der Batterie, also bei g oder h, einschalten würden.

Fechner hat dann 1831 gezeigt, dass diese Gleichheit der Stromintensität an allen Stellen des Stromkreises auch dann erhalten bleibt, wenn dieser Kreis aus verschiedenartigen Leitern, sowohl festen als flüssigen, besteht. Er bediente sich einer Vorrichtung, welche in Fig. 288 abgebildet ist. Eine in einem Brett ausgehöhlte Rinne wurde theils mit Quecksilber, theils mit Streifen aus verschiedenen Metallen von verschiedener Dicke ausgefüllt. Der so zusammengesetzte Leiter wurde derart in einen Stromkreis eingeschaltet, dass er horizontal und senkrecht auf den magnetischen Meridian gerichtet war. Eine über den einzelnen Streifen aufgehängte Magnetnadel erhielt dann durch den Strom

Fig. 289.



eine Vergrösserung ihrer Richtkraft und daher auch eine Verkürzung ihrer Schwingungsdauer, welche aber für alle Theile des Leiters gleich gross war.

Um auch für nichtmetallische Flüssigkeiten diesen Nachweis zu führen, kann man eine Versuchsanordnung nach Fig. 289 benutzen. Die Poldrähte des Elementes S führen zu den Quecksilbernäpfen A und C. In der Mitte zwischen diesen steht das Näpfchen B. Zwischen A und B

ist der Metallstab KK_1, zwischen B und A eine Glasröhre GG_1 eingeschaltet, welche z. B. Kupfervitriollösung enthält. Ihre Enden sind durch Korke verschlossen, durch welche Kupferdrähte hineinragen. Die Richtung CBA fällt in den magnetischen Meridian. Eine über KK_1 aufgehängte Magnetnadel erfährt eine Ablenkung, die am besten mittelst Spiegel und Scala beobachtet wird. Vertauscht man nun den Metallstab KK_1 durch die Flüssigkeitssäule GG_1, so ändert sich die Ablenkung nicht. Daraus folgt also, dass auch in den aus Flüssigkeiten bestehenden Theilen eines Stromkreises dieselbe Stromintensität herrscht wie in den übrigen Theilen desselben Stromkreises. Dies gilt sogar auch von jenen Flüssigkeiten, welche das den Strom erzeugende Element bilden. Man kann dies zeigen, indem man in Fig. 289 das Element S ausschaltet, A mit C durch einen Draht verbindet und statt der Flüssigkeitssäule GG_1 ein Element gleicher Form einschaltet. Man erhält ein solches durch Anbringung eines porösen Diaphragmas mitten in der Glasröhre, deren eine Hälfte man mit Kupfervitriol, deren andere mit Zinkvitriol füllt und deren Zuleitungsdrähte man einerseits aus Kupfer, andererseits aus amalgamirtem Zink herstellt. Das so gebildete Daniell'sche Element liefert dann den Strom, welcher die Magnetnadel ablenkt. Diese Ablenkung bleibt gleich gross, wenn man das Element an Stelle des Metallstabes einschaltet und diesen dafür an Stelle des Elementes giebt.

Durch die beschriebenen Versuche ist folgender Satz bewiesen:

Die Intensität eines Stromes ist in allen Theilen seiner Leitung, mag dieselbe wie sonst immer beschaffen sein, dieselbe. Mit Rücksicht darauf, dass wir die Stromstärke durch die Menge der positiven Elektricität definiren, die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Leiters fliesst, können wir demnach obigen Satz auch in folgender Form aussprechen:

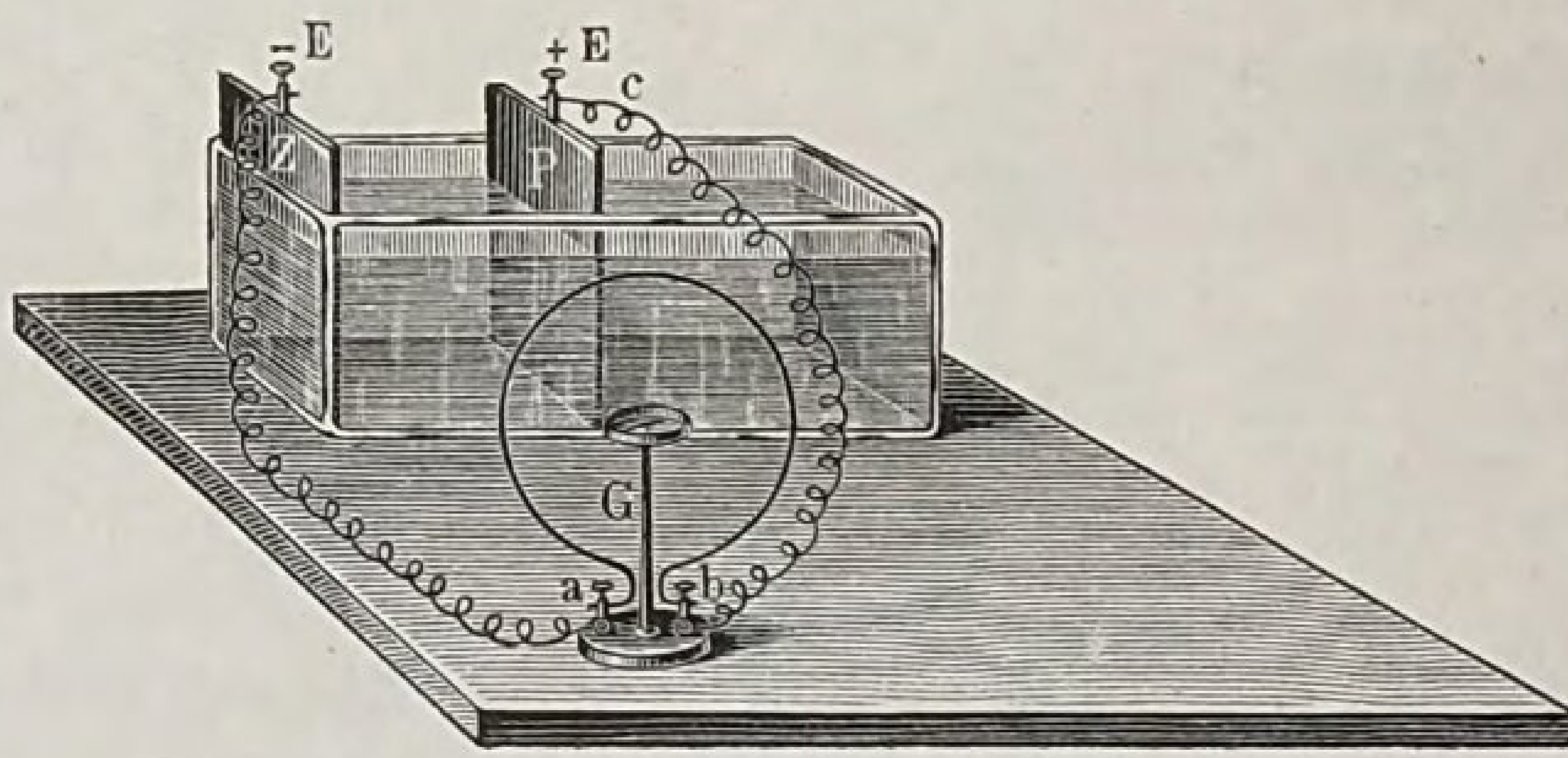
Durch jeden Querschnitt der Leitung fliesst eine gleiche Menge von Elektricität.

Ohm'sches Gesetz. Wir haben nun zu untersuchen, von 97
welchen Umständen die Stromstärke abhängt. Zu diesem Zwecke denken wir uns einige Versuche mit Hilfe eines Apparates ausgeführt, welcher durch Fig. 290 (a. f. S.) dargestellt wird. Derselbe besteht aus einem Elemente, z. B. einer Zink- und einer Platinplatte Z und P, welche in einen mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten parallelepipedischen Trog in veränderlichem Abstande eingehängt werden können. Die beiden Polklemmen $+E$ und $-E$ sind durch Drähte bei a und b mit einer Tangentenbussole in Verbindung. Die letztere zeigt bei dem in der Fig. 290 angedeuteten Abstande der Zink- und der Platinplatte eine bestimmte Stromstärke J an.

Ein erster Versuch ergiebt nun, dass eine Vertauschung der Leitungsdrähte $-Ea$ und $+Eb$ durch längere Drähte gleichen Quer-

schnitts und Materiales den Strom schwächt, dass dagegen die Stromintensität zunimmt, wenn man diese Drähte verkürzt. Wir schliessen daraus, dass der metallische Schliessungskreis dem Strom einen um so

Fig. 290.

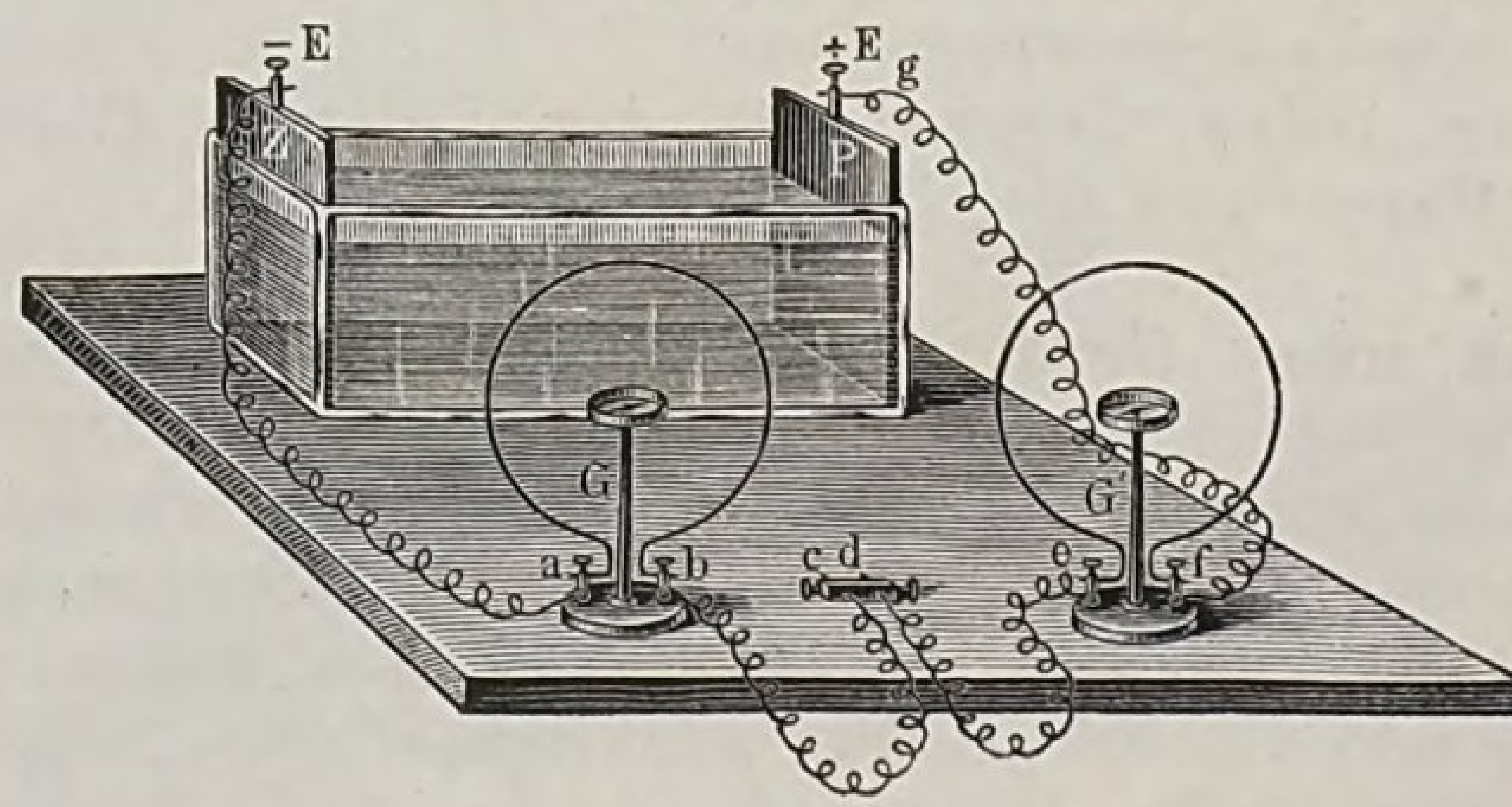


grösseren Widerstand darbietet, je länger derselbe unter übrigens gleichen Umständen ist.

Ein zweiter Versuch lehrt uns, dass dasselbe bei dem flüssigen Leiter zwischen Z und P der Fall ist, denn eine Vergrösserung der Plattenentfernung vermindert auffällig die Stromintensität.

Dritter Versuch. Um quantitativ zu ermitteln, welchen Einfluss die Vermehrung des Widerstandes auf die Stromstärke hat, wollen wir nun den Widerstand genau verdoppeln. Zu diesem Zwecke nehmen wir drei Veränderungen vor: Wir verdoppeln den Abstand zwischen Z und P, wir verdoppeln die Drahtleitungen und wir schalten noch ein dem Galvanometer G ganz gleiches G' ein (Fig. 291). Indem wir so einzeln

Fig. 291.

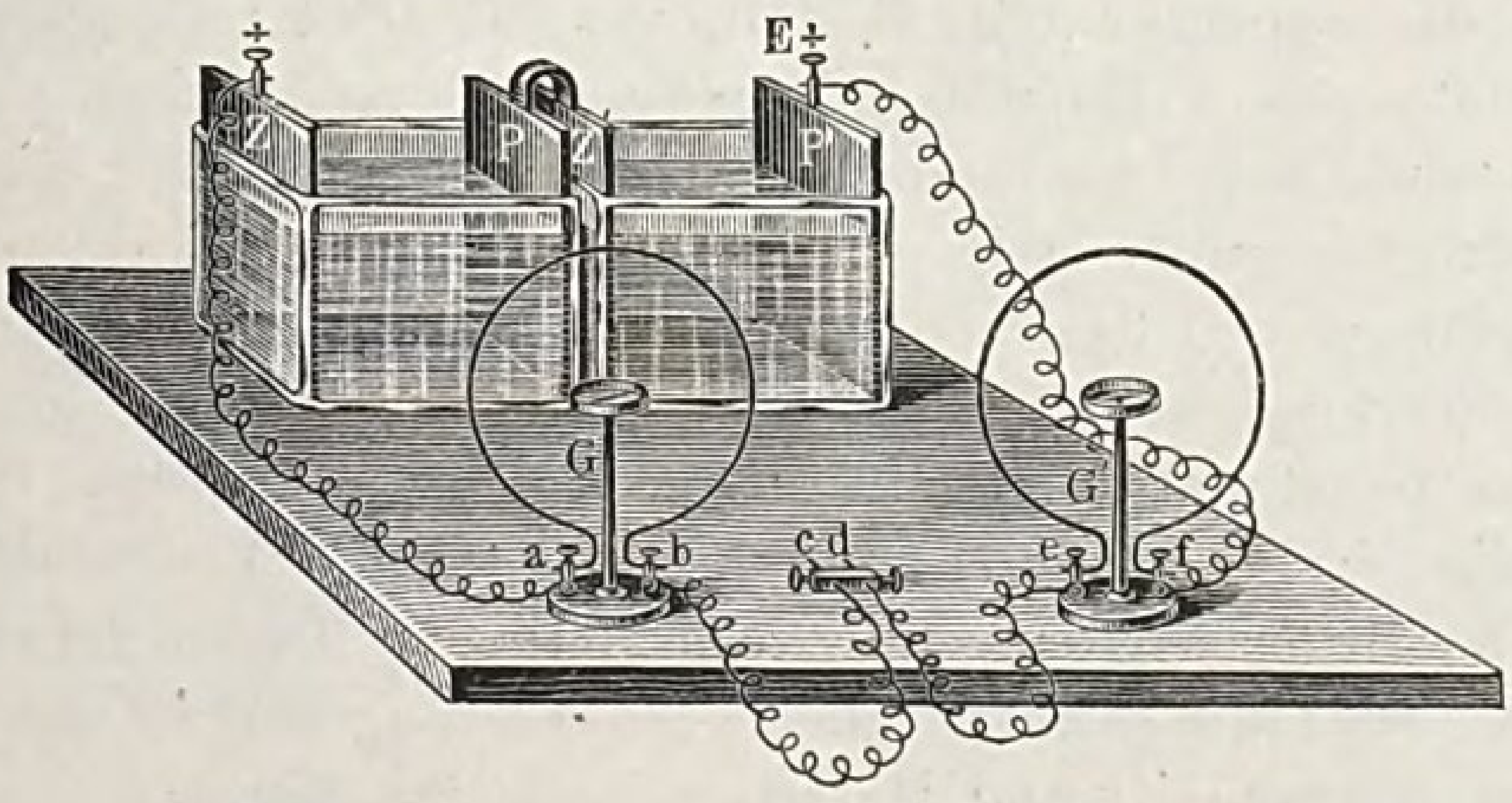


die Widerstände des flüssigen Leiters, des Drahtes und des Galvanometers verdoppelt haben, erhalten wir auch einen doppelt so grossen Gesammtwiderstand. Die Stromstärke zeigt sich jetzt halb so gross $= \frac{J}{2}$, die Galvanometer zeigen nämlich beide solche Ablenkungen, welche der halben Tangente des früheren Ablenkungswinkels entsprechen.

Vierter Versuch. Wir suchen nun ein Stück Draht von derselben Gattung wie der andere verwendete und von solcher Länge, dass derselbe an Stelle des Galvanometers G' zwischen e und f eingeschaltet die Ablenkung in G nicht ändert. Wir wissen dann, dass dieses Drahtstück denselben Widerstand darbietet, wie das Galvanometer G' und dass das ganze Drahtstück von d bis $+E$ dann die Hälfte des Widerstandes des ganzen festen Schliessungskreises von $-E$ bis $+E$ ausmacht. Wir sind dann leicht im Stande, durch Verminderung dieses Widerstandes und gleichzeitige proportionale Verminderung des Abstandes ZP dem gesammten Widerstande innerhalb gewisser Gränzen eine Reihe von beliebigen Werthen zu ertheilen und die zugehörigen Stromintensitäten am Galvanometer G abzulesen. Diese Messungen führen uns zu dem Satze: Die Stromstärke ist verkehrt proportional dem Gesammtwiderstande.

Fünfter Versuch. Bisher blieb die elektromotorische Kraft unverändert. (Von den Schwankungen derselben während der Messungen sehen wir ab, da man sie durch Wiederholen des Versuches eliminiren kann.) Wir verdoppeln nun die elektromotorische Kraft, indem wir statt des einen Troges zwei Tröge anwenden, deren jeder ein gleiches Element enthält und dieselben hinter einander einschalten (Fig. 292). Die Abstände ZP und $Z'P'$ wählen wir so, dass die Summe derselben gleich dem

Fig. 292.



früheren Abstande beim Versuche 3 (Fig. 291) ist. Schalten wir nun auch denselben festen Schliessungskreis ein, wie beim 3. Versuche, so ergiebt sich jetzt aus der Ablenkung eine doppelt so grosse Stromstärke als damals, also $= 2 \cdot \frac{J}{2} = J$. Sowohl elektromotorische Kraft, als Gesammtwiderstand sind hier doppelt so gross, als bei der Anordnung Fig. 290, die Stromstärke ist aber dieselbe. Wir gelangen also zu dem Satze:

Die Stromstärke ist der elektromotorischen Kraft direct, dem Gesammtwiderstande verkehrt proportional.

Bezeichnen wir die Stromstärke mit J, den Gesammtwiderstand mit R, die elektromotorische Kraft mit E, so ist somit

$$J = k\,\frac{E}{R},$$

wobei k einen constanten Factor bedeutet, dessen Betrag von den Einheiten abhängt, nach welchen J, E und R gemessen werden. Wählt man diese Einheiten so, dass $k = 1$ wird, so gilt

$$J = \frac{E}{R}.$$

Dieses Gesetz wurde von Ohm entdeckt und nach ihm benannt. („Die galvanische Kette, mathematisch behandelt von D. G. S. Ohm, Berlin 1827"); es fand jedoch erst viel später die allgemeine Würdigung, die es verdient.

Auch Pouillet machte Anspruch auf die Entdeckung des Gesetzes der Stromstärke, welches er auf experimentellem Wege aufgefunden, während Ohm seine Resultate aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet hat, auf die wir später zurückkommen werden. Wenn man auch zugiebt, was sehr leicht möglich ist, dass beide Gelehrte ganz unabhängig von einander und auf ganz verschiedenen Wegen dasselbe Gesetz fanden, so muss man doch unbedingt Ohm die Priorität zugestehen, indem die Publication seines Werkes älter ist, als die der Pouillet'schen Versuche.

Was die experimentelle Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes betrifft, so hatte man anfänglich mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, indem es einestheils an bequemen und sicheren Mitteln zur Messung der Stromstärke, andererseits auch an Rheomotoren fehlte, welche hinlänglich kräftige und doch constante Ströme zu liefern im Stande waren. Die oben beschriebenen Versuche sind als Vorleseversuche geeignet, das Ohm'sche Gesetz abzuleiten, entbehren aber desjenigen Grades der Genauigkeit, welcher zur Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes erforderlich ist. Bevor wir dazu taugliche Methoden kennen lernen, müssen wir zuvor über die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes linearer Leiter vom Querschnitt und Materiale ins Reine kommen.

98 **Leitungswiderstand linearer Stromleiter.** Unter linearen Leitern wollen wir solche verstehen, deren senkrecht auf die Stromrichtung gerichteter Querschnitt constant bleibt, wie es bei Drähten, Stäben und auch bei Flüssigkeitssäulen meistens der Fall ist. Der Widerstand eines solchen Leiters hängt dann ab 1. von der Länge, 2. vom Flächenraum des Querschnitts und 3. von der materiellen Beschaffenheit des Leiters, ist dagegen unabhängig von der Form des Leiters (d. h. davon, ob derselbe gerade gestreckt oder gebogen ist) und von der Gestalt des Querschnittes.

Dass der Widerstand eines Leiters unter sonst gleichen Umständen seiner Länge proportional ist, versteht sich wohl von selbst und wurde dies bei den in §. 97 beschriebenen Versuchen vorausgesetzt.

Um die Abhängigkeit vom Querschnitt zu prüfen, bedienen wir uns eines Apparates, wie in Fig. 291 Seite 296, wobei wir jedoch die zweite Tangentenbussole G' ausschalten und dafür die Drahtenden e und f in zwei Quecksilbernäpfe eintauchen. Wir verbinden hierauf diese Quecksilbernäpfe durch ein Stück Kupferdraht von 1 mm Dicke und 1 m Länge, dessen Widerstand wir $= r$ setzen wollen. Das Galvanometer G zeigt dabei irgend einen Ausschlagswinkel α. Nun verdoppeln wir den Kupferdraht, indem wir zwei 1 mm dicke Drahtstücke von 1 m Länge neben einander legen und deren Enden in die Näpfe tauchen. Sofort steigt die Stromstärke, was wir an der Vergrösserung des Ausschlagswinkels α erkennen. Der Widerstand hat also abgenommen, er ist statt $= r$ nur mehr $= r'$. Ersetzen wir aber nun die beiden je 1 m langen Drähte durch zwei ebenso dicke, aber 2 m lange Drähte, so geht die Galvanometernadel wieder auf α zurück. Der doppelte Draht von doppelter Länge bietet also denselben Widerstand r, wie der einfache Draht. Da nun durch die Verlängerung der Drähte aufs Doppelte der Widerstand verdoppelt wird, so ist

$$2r' = r,\ r' = \frac{r}{2},$$

d. h. dadurch, dass wir einen Draht doppelt legen, vermindern wir den Leitungswiderstand auf die Hälfte. Dasselbe würden wir finden, wenn wir statt den Draht doppelt zu nehmen, einen dickeren Draht von doppeltem Querschnitte nehmen würden. Ersetzen wir dagegen den Draht von 1 mm Dicke durch einen solchen von 2 mm Dicke, so müssen wir denselben 4 mal so lang nehmen, damit er gleichen Widerstand darbiete; sein Querschnitt ist aber auch 4 mal so gross. Ganz allgemein können wir also sagen, dass ein Drahtstück den gleichen Widerstand behält, wenn wir Länge und Querschnitt im gleichen Verhältnisse vergrössern oder verkleinern. Es hängt demnach der Widerstand von dem Verhältniss $\frac{l}{q}$ ab und ist diesem proportional, wenn wir mit l die Länge, mit q den Querschnitt bezeichnen.

Dasselbe gilt von den flüssigen Leitern. Ersetzen wir die Platten Z und P durch solche von halb so grosser Oberfläche oder füllen den Trog nur bis zur halben Höhe der Platten und nähern dieselben zugleich auf die halbe Distanz, so bleibt die Stromstärke unverändert, weil der Quotient $\frac{l}{q}$ derselbe bleibt. Ausser von dem Quotienten $\frac{l}{q}$ ist aber der Widerstand auch von dem Materiale des Leiters abhängig, worüber ein späterer Paragraph berichten wird.

99 **Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes, Folgerungen aus demselben.** Die im §. 97 beschriebenen Versuche entbehren, wie bereits erwähnt, der wünschenswerthen Genauigkeit. Die Ergebnisse des vorigen Paragraphen setzen uns in den Stand, das bereits bekannte Ohm'sche Gesetz durch weitere Messungen als richtig zu bestätigen.

Nennen wir wiederum die Stromstärke J, die elektromotorische Kraft E, den Gesammtwiderstand R, so lautete das Ohm'sche Gesetz:

$$J = \frac{E}{R}.$$

Der Gesammtwiderstand R zerfällt in zwei Theile: in den Widerstand innerhalb des Elementes und in den Widerstand des Schliessungsbogens. Ersteren nennen wir den inneren oder wesentlichen Widerstand und bezeichnen ihn mit w, letzteren bezeichnen wir mit r. Wir haben dann

$$J = \frac{E}{w + r} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Sind nun mehrere, z. B. n Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft E und den wesentlichen Widerstand w besitzt, hintereinander zu einer Batterie zusammengesetzt und die beiden Pole durch einen Schliessungsbogen von dem Widerstande r verbunden, so wird die Stromstärke

$$J' = \frac{nE}{nw + r} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Der Einfluss, welchen die Vermehrung der Plattenpaare, also die Vergrösserung von n auf die Stromstärke ausübt, hängt nun sehr von der Grösse des Widerstandes r im Schliessungsbogen ab. Wir wollen hier nur die extremen Fälle betrachten.

Wenn der Schliessungsbogen nur durch ganz kurze, dicke und gutleitende Metalldrähte gebildet wird, so ist r sehr klein. Für den Fall, dass r verschwindend klein ist im Vergleich zum wesentlichen Widerstand w, reducirt sich aber Gleichung 2) auf

$$J' = \frac{nE}{nw} = \frac{E}{w},$$

d. h. die Stromstärke, welche eine Säule von n Plattenpaaren liefert, ist nicht grösser als die eines einzigen Plattenpaares. Wenn also der Widerstand im Schliessungsbogen klein ist im Vergleich zu dem Leitungswiderstand eines einzelnen Elementes, so gewährt die Vermehrung der zur Säule combinirten Plattenpaare keinen Vortheil.

Ist dagegen der Widerstand r bedeutend, so wächst der Werth des Bruches 2) mit der Grösse von n; für den Gränzfall, dass r gross genug ist, um dagegen nw vernachlässigen zu können, geht der Werth von J über in

$$J'' = \frac{nE}{r};$$

die Stromstärke ist also hier der Anzahl n der Plattenpaare proportional, welche zur Säule verbunden sind. Sobald also der Leitungswiderstand im Schliessungsbogen bedeutend ist, wird durch Vermehrung der zur Säule combinirten Plattenpaare eine Vergrösserung der Stromstärke erzielt.

Betrachten wir nun den Einfluss, welchen die Vergrösserung der Oberfläche eines einfachen Plattenpaares hat. Die Stromstärke für ein einziges Plattenpaar wurde oben mit

$$J = \frac{E}{w + r}$$

bezeichnet; wenn nun die Oberfläche des Volta'schen Elementes n mal so gross würde, ohne dass sonst etwas geändert wird, so hätte dies doch nur zur Folge, den Leitungswiderstand zwischen den Platten selbst n mal kleiner zu machen, weil ja der Querschnitt der Flüssigkeit, durch welche der Strom hindurchgehen muss, n mal grösser geworden ist; statt des Widerstandes w hätte man also jetzt $\frac{w}{n}$, die Stromstärke wird also sein

$$J' = \frac{E}{\frac{w}{n} + r},$$

oder was dasselbe ist,

$$J' = \frac{nE}{w + nr}.$$

Wäre r, d. h. der Leitungswiderstand im Schliessungsbogen, gleich Null, so wäre die Stromstärke der Oberfläche des Elementes proportional; dies ist auch noch sehr nahe der Fall, wenn r nur sehr klein ist; eine Vergrösserung der Oberfläche bringt also dann eine Vermehrung der Stromstärke hervor, wenn der Leitungswiderstand im Schliessungsbogen klein ist gegen den wesentlichen Widerstand im Rheomotor.

Schon die Uebereinstimmung dieser aus dem Ohm'schen Gesetze abgeleiteten Sätze mit der Erfahrung dient jenem zur Bestätigung. Einen genaueren Nachweis können wir noch durch folgende Versuche führen. Wir schliessen den Strom eines constanten Elementes, z. B. eines Daniell'schen Bechers, durch eine Tangentenbussole, deren Ring, sowie deren Zuleitungsdrähte leicht so dick genommen werden können, dass ihr Widerstand verschwindend klein wird, und schalten nach und nach immer längere Stücke eines und desselben dünnen Drahtes in den Schliessungskreis ein.

Um die längeren Drähte bequem anwenden zu können, können sie mit Seide übersponnen und dann zusammengewunden sein.

Eine Versuchsreihe der Art, bei welcher ein einziger Daniell'scher Becher als Elektromotor diente, gab folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes	Beobachtete Ablenkung	Tangente des Ablenkungswinkels
0 Meter	62° 00′	1·880
5	40 20	0·849
10	28 30	0·543
40	9 45	0·172
70	6 00	0·105
100	4 15	0·074

Bezeichnen wir den unbekannten wesentlichen Leitungswiderstand des Elementes mit w (hier aus dem Widerstand des Bechers selbst und dem allerdings sehr geringen Widerstand der Tangentenbussole und dem der unentbehrlichen Zuleitungsdrähte bestehend), so entspricht also dem Widerstand w die Ablenkung von 62°, dem Widerstand $w + 5$ die Ablenkung von 40° 20′ etc. und wenn die Stärke der Ströme bei gleicher elektromotorischer Kraft wirklich dem Widerstand umgekehrt proportional sein soll, so haben wir

$$w : w + 5 = 0{\cdot}849 : 1{\cdot}880,$$

woraus sich ergiebt $w = 4{\cdot}11$. Vergleicht man auf dieselbe Weise die erste Beobachtung mit allen folgenden, so müsste man, wenn keinerlei Beobachtungsfehler vorkämen, immer gleichen Werth für w erhalten und in der That sind die auf diese Weise berechneten Werthe von w sehr nahe einander gleich; man findet nämlich ausser dem schon berechneten 4·06, 4·03, 4·14 und 4·09 Meter. Das Mittel daraus ist 4·08.

Der wesentliche Widerstand des Elementes war also in diesem Falle gleich dem Widerstande eines 4·08 Meter langen Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete. Legt man diese Länge zu Grunde, so kann man umgekehrt von der für die Einschaltung 0 beobachteten Ablenkung 62° ausgehend nach der Gleichung

$$tang\,\alpha = \frac{E}{w + r}$$

berechnen, wie gross die Ablenkung α sein muss, wenn ausser dem wesentlichen Widerstand $w = 4{\cdot}08$ noch die Widerstände $r = 5$, $r = 10$ etc. eingeschaltet werden. In der folgenden Tabelle sind die so berechneten Ablenkungen mit den beobachteten zusammengestellt.

Länge der Kette	Berechnete Ablenkung	Beobachtete Ablenkung	Differenz
4·08 Meter	62° 00′	62° 00′	
9·08	40 18	40 20	+ 2′
14·08	28 41	28 30	— 11
44·08	9 56	9 45	— 11
74·08	5 57	6 00	+ 3
104·08	4 14	4 15	+ 1

Eine solche Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Beobachtung und denen, die man aus dem Ohm'schen Gesetze abgeleitet hat, lässt keinen Zweifel mehr über die Richtigkeit dieses Gesetzes für hydroelektrische Ströme.

In der eben angegebenen Weise wurde der Widerstand von sechs einander möglichst gleichen Daniell'schen Bechern ermittelt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuchsreihe:

Nummer der Elemente	Drahtlängen, welche in den Schliessungsbogen eingeschaltet waren	Beobachtete Ablenkung	Tangente des Ablenkungswinkels	Widerstand des Elementes
1	0 m	69° 00′	2·600	Meter
	40	11 00	0·194	3·20
2	0	66 30	2·300	—
	40	10 40	0·188	3·55
3	0	67 40	2·434	—
	40	10 20	0·182	3·23
4	0	67 00	2·355	—
	40	10 20	0·182	3·55
5	0	68 00	2·475	—
	40	11 00	0·194	3·40
6	0	64 00	2·050	—
	40	10 00	0·176	3·57

Die letzte Columne drückt aus, wie lang der Draht von der zur Einschaltung angewandten Dicke sein müsste, um denselben Leitungs-

widerstand hervorzubringen, wie der, welcher zu überwinden ist, wenn der Rheomotor nur durch die Tangentenbussole geschlossen ist.

Die einzelnen Becher hatten also fast gleichen Widerstand. Zu einer Säule verbunden, gaben sie einen Strom, welcher einen Platindraht von $\frac{1}{4}$ mm Dicke und mehr als 20 cm Länge fortdauernd glühend erhalten konnte. Liess man nun diesen Strom durch die Tangentenbussole gehen, so erhielt man bei Einschaltung verschiedener Längen von Kupferdraht folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Drahtes	Beobachtete Ablenkung	Tangente des Ablenkungswinkels	Widerstand der Säule
0 Meter	68° 30′	2·538	Meter
5	63 20	1·991	18·20
10	58 30	1·632	19·03
40	39 0	0·810	18·01
70	28 0	0·532	18·56
100	21 30	0·394	18·38
		Mittel . .	18·43

Die sechs Elemente zusammen leisten also mit der Tangentenbussole einen Leitungswiderstand wie ein 18·43 m langes Stück des eingeschalteten Drahtes; der Widerstand der Säule ist also nahezu sechsmal so gross als der eines einzelnen Bechers.

Diese Versuche bestätigen auch das oben abgeleitete Resultat, dass bei geringem Widerstand im Schliessungsbogen die Stromstärke durch Vermehrung der Becherzahl nicht merklich gesteigert wird. Für einen einzelnen Becher nämlich ergab sich im Durchschnitt eine Ablenkung von 67°, wenn der Schliessungsbogen nur durch die Tangentenbussole und die kurzen dicken Zuleitungsdrähte gebildet wurde. Für eine Säule von sechs solchen Bechern ergab sich bei demselben Schliessungsbogen die nur wenig grössere Ablenkung von 68° 30′.

Anders verhält es sich, wenn ein bedeutender Widerstand eingeschaltet ist. Bei einer Einschaltung von 40 m Kupferdraht war die Ablenkung, welche ein einzelner Becher hervorbrachte, im Mittel nur 10° 20′, für eine Säule von sechs solchen Bechern aber stieg sie auf 39°.

100 **Zweckmässigste Combination einer gegebenen Anzahl von galvanischen Elementen.** Aus dem Ohm'schen Gesetze haben wir im vorigen Paragraphen die Folgerung abgeleitet, dass je nach der Grösse des äusseren Widerstandes entweder die Vermehrung oder die Vergrösserung der Platten die Stromstärke erhöht. Denselben Zweck,

wie durch die Vergrösserung der Platten, kann man aber auch durch Verbindung der Elemente *neben einander* erreichen. Setzt man z. B. bei zwei *Daniell*'schen Elementen das Zink mit dem Zink und das Kupfer mit dem Kupfer in Verbindung, so erhält man eine Combination, die ebenso wirkt, wie ein einziges Element von doppelter Grösse der Platten. Das *Ohm*'sche Gesetz gestattet uns nun folgenden richtigen Satz abzuleiten:

Das Maximum der Stromstärke erhält man von einer gegebenen Anzahl galvanischer Becher, wenn man sie so ordnet, dass der wesentliche Widerstand im Rheomotor dem Widerstand im Schliessungsbogen gleich ist.

Dieser Satz soll erst erläutert, dann bewiesen werden.

Wir haben bereits oben (§. 92) gesehen, dass man eine bestimmte Anzahl galvanischer Becher in verschiedener Weise combiniren kann, so dass sie bald eine Säule von vielen, aber kleineren, bald eine solche von wenigen, aber grösseren Plattenpaaren darstellt. Für jede dieser Combinationen ist natürlich auch der Gesammtwiderstand ein anderer. Bezeichnen wir den Leitungswiderstand eines einzelnen Bechers mit 1, so ist der Gesammtwiderstand der Combination, Fig. 293 (a. f. S.), gleich 8; der Widerstand der Combinationen Fig. 294 bis 296 ist dann der Reihe nach 2, $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{8}$. Eine Anzahl von 24 Bechern kann man auf acht verschiedene Arten combiniren, nämlich:

1) Zu einer Säule von 24 einzelnen Bechern,
2) „ „ „ „ 12 doppelten „
3) „ „ „ „ 8 dreifachen „
4) „ „ „ „ 6 vierfachen „
5) „ „ „ „ 4 sechsfachen „
6) „ „ „ „ 3 achtfachen „
7) „ „ „ „ 2 zwölffachen „
8) „ „ „ „ 1 vierundzwanzigfachen Becher.

Welche von diesen Combinationen in einem bestimmten Fall zu wählen sei, hängt vom Leitungswiderstande des Schliessungsbogens ab. Man hat diejenige Combination zu nehmen, deren Widerstand dem des gegebenen Schliessungsbogens am nächsten steht. Bezeichnen wir mit 1 den Widerstand eines Bechers, so ist der Widerstand

für die 1. Combination 24,
„ „ 2. „ 6,
„ „ 3. „ 2·666,
„ „ 4. „ 1·5,
„ „ 5. „ 0·666,
„ „ 6. „ 0·375,
„ „ 7. „ 0·166,
„ „ 8. „ 0·0416.

Ist der Widerstand des gegebenen Schliessungsbogens kleiner als 0·1 von dem Widerstande eines Elementes, so hat man die letzte Combination zu wählen, die erste aber, wenn der Leitungswiderstand des Schliessungsbogens grösser ist als der von 15 Bechern. Liegt der zu überwindende Widerstand zwischen 15 und 4·3 — zwischen 4·3 und — 2 zwischen 2 und 1·08 etc. so hat man die zweite, dritte, vierte etc. Combination zu wählen.

Der eben erläuterte Satz muss nun noch bewiesen werden.

Betrachten wir die verschiedenen Combinationen von 8 Elementen, wie sie in den Fig. 293 bis 296 dargestellt sind, so übersieht man leicht, dass, wenn man die Säule verkürzt, sie in demselben Verhältniss breiter

Fig. 293.

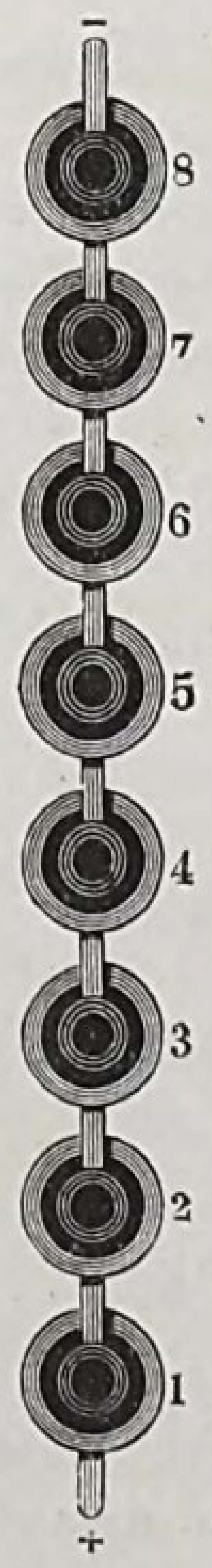


Fig. 294.

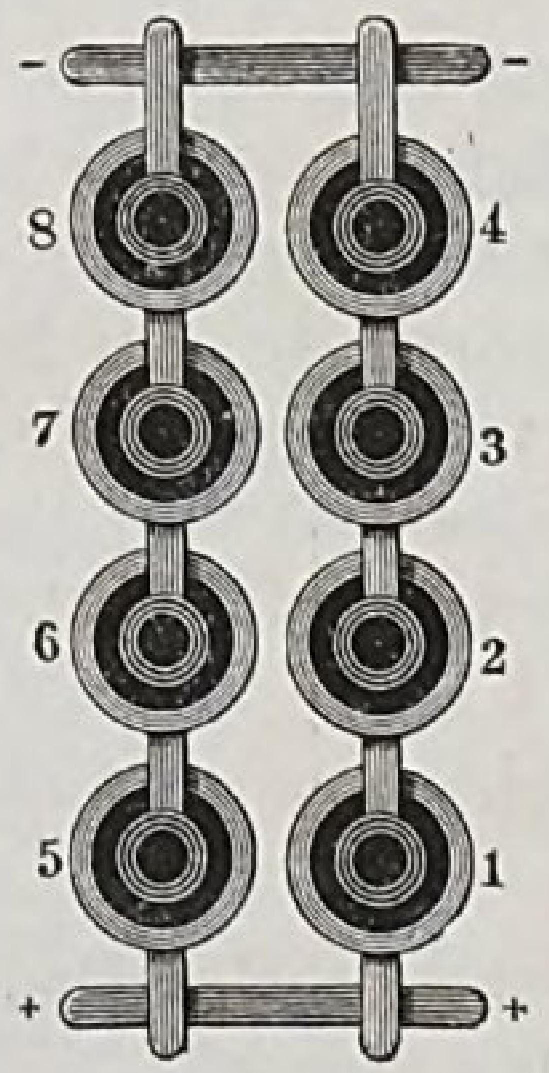


Fig. 295.

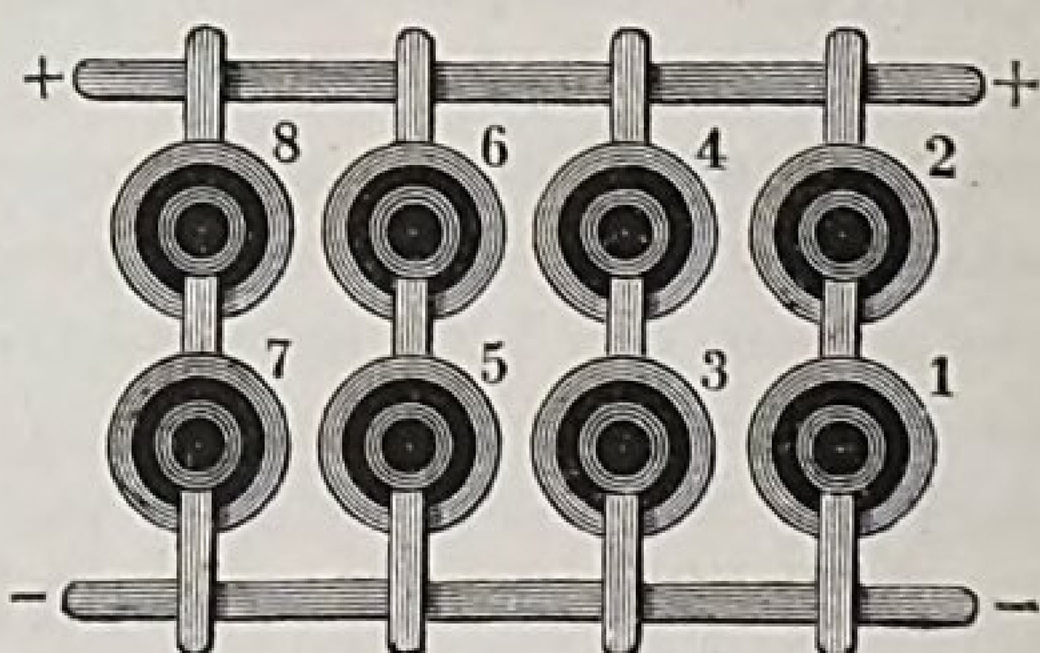
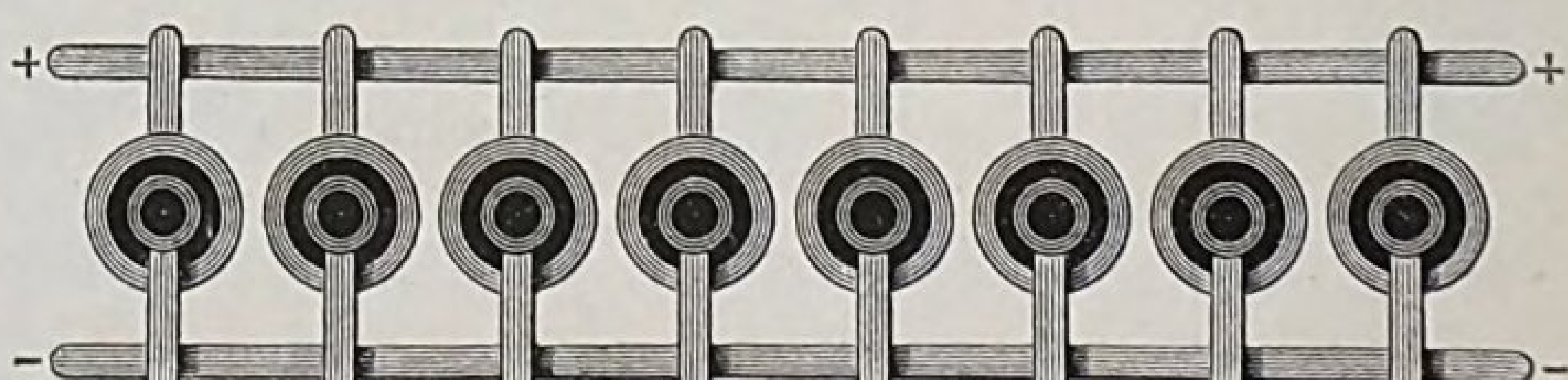


Fig. 296.



wird, d. h. wenn man weniger Becher hinter einander setzt, so kann man bei Anwendung der gleichen Becherzahl in demselben Verhältniss mehr Elemente neben einander setzen.

Gehen wir von der ersten Combination aus. Wir haben hier eine Säule von 8 einfachen Bechern. Reduciren wir die Länge der Säule auf die Hälfte, also auf 4, so können wir die Breite jedes Plattenpaares verdoppeln, wir haben jetzt 4 doppelte Becher, Fig. 294.

Macht man die Säule viermal kürzer, so kann man viermal soviel einzelne Becher zu einem Plattenpaare vereinigen: aus 8 einfachen

Bechern erhält man 2 vierfache, Fig. 295. Kurz, wenn man die Säule a mal kürzer macht, so kann man a mal soviel Becher zu einem Plattenpaare vereinigen.

Wenn die Zahl der hinter einander zur Säule vereinigten Becher a mal kleiner wird, so wird die elektromotorische Kraft auch a mal kleiner; hätte man nun die Säule bloss a mal kürzer gemacht, ohne ihre Breite zunehmen zu lassen, so würde auch der Leitungswiderstand a mal kleiner geworden sein; wenn aber jedes Element der einen Säule aus a mal so vielen Einzelelementen besteht als früher, so wird nun der Widerstand in der That a^2 mal kleiner als vorher.

So ist der Leitungswiderstand für die Combinationen Fig. 294 bis 296 4 mal, 16 mal und 64 mal geringer als der Leitungswiderstand der Säule Fig. 293.

Nach dieser Auseinandersetzung ist nun der fragliche Beweis leicht zu führen. Es sei für irgend eine Combination mehrerer Becher die elektromotorische Kraft E, der wesentliche Leitungswiderstand W. Wird diese Säule durch einen Schliessungsbogen geschlossen, dessen Widerstand ebenfalls W ist, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$J = \frac{E}{2\,W} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Wird nun die Säule a mal kürzer, die einzelnen Plattenpaare a mal breiter gemacht, so wird die elektromotorische Kraft a mal kleiner, sie wird $\frac{E}{a}$; der Leitungswiderstand der Kette wird aber $\frac{W}{a^2}$, die Stromstärke wird also jetzt bei gleichem Schliessungsbogen

$$J' = \frac{\frac{E}{a}}{\frac{W}{a^2} + W} = \frac{E}{W\left(a + \frac{1}{a}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Die Summe $a + \frac{1}{a}$ ist nun aber unter allen Umständen ausgenommen $a = 1$ — grösser als 2, was für einen ganzen oder gebrochenen Zahlenwerth man auch für a setzen mag; für $a = 1$ erhält man den kleinsten Werth $= 2$, es ist also auch der Werth des Bruches 2) kleiner als der des Bruches 1). Da nun 1) den Werth der Stromstärke für den Fall bezeichnet, dass der Widerstand im Elektromotor dem Widerstande des Schliessungsbogens gleich ist, der Bruch 2) aber den Werth der Stromstärke für den Fall, dass dieselbe Anzahl von Einzelelementen auf irgend eine andere Weise combinirt ist, so ist hiermit der fragliche Satz bewiesen.

Nach diesem Satze kann man nun leicht berechnen, welche Combination in einem gegebenen Falle gewählt werden müsse.

Es seien die n disponiblen Becher so combinirt, dass sie eine Säule von s Plattenpaaren bilden, deren jedes aus t Bechern gebildet ist, so

ist $n = s \, . \, t$. Bezeichnen wir den Widerstand eines Bechers mit w, so ist der Widerstand unserer Combination gleich $w \cdot \frac{s}{t}$. — Die Becher sollen aber so combinirt sein, dass dieser Widerstand gleich ist dem Widerstande W des gegebenen Schliessungsbogens, wir haben also

$$w \cdot \frac{s}{t} = W.$$

Da aber $t = \frac{n}{s}$, so ist auch

$$\frac{w \, . \, s^2}{n} = W,$$

oder

$$s = \sqrt{\frac{Wn}{w}}.$$

Zur Erzeugung des Stromes habe man z. B. 8 Becher, deren jeder einen Leitungswiderstand 15 ausübt. Der Schliessungsbogen sei durch ein Stück Draht gebildet, dessen Widerstand 40 ist, so haben wir

$$s = \sqrt{\frac{8 \, . \, 40}{15}} = 4{\cdot}3.$$

Es wird hier also eine Säule von 4 Doppelbechern, die Combination Fig. 294 auf Seite 306, die grösste Wirkung geben. In der That ist für diesen Fall die Stromstärke

$$J = \frac{4 \, . \, 800}{4 \cdot \frac{15}{2} + 40} = 45{\cdot}7.$$

Hätte man bei demselben Schliessungsbogen dieselben Becher zu einer Säule von 8 Plattenpaaren verbunden (die Combination Fig. 293 auf Seite 306), so wäre die Stromstärke nur

$$J = \frac{8 \, . \, 800}{8 \, . \, 15 + 40} = 40,$$

und für die Combination Fig. 296 Seite 306:

$$J = \frac{800}{\frac{15}{8} + 40} = 19.$$

Hat man einmal eine gegebene Anzahl von Bechern so combinirt, dass sie in einem gegebenen Schliessungsbogen ein Maximum von Stromstärke geben, so wird eine Vermehrung der Becher die Stromstärke im günstigsten Falle nur im Verhältniss der Quadratwurzel aus der Becherzahl vergrössern; man muss also 4 mal, 9 mal, 16 mal so viel Becher anwenden, um die 2 fache, 3 fache, 4 fache Wirkung zu erhalten.

Die Richtigkeit dieser Behauptung ergiebt sich aus folgender Betrachtung. Es sei der Widerstand des Schliessungsbogens gleich w, gleich dem Widerstande eines Bechers, dessen elektromotorische Kraft mit E bezeichnet werden soll, so ist die Stromstärke

$$J = \frac{E}{w + w} = \frac{E}{2w}.$$

Die Stromstärke soll nun durch Vermehrung der Becherzahl verdoppelt werden. Soll die neue Combination ein Maximum von Effect geben, so muss der Widerstand in der Kette so gross bleiben als der Widerstand des Schliessungsbogens, der Widerstand der neuen Combination darf also nicht grösser werden, als der eines einzigen Bechers; wir werden also die doppelte Stromstärke erhalten, wenn wir bei unverändertem Widerstande die elektromotorische Kraft verdoppeln. Die elektromotorische Kraft wird verdoppelt dadurch, dass 2 Plattenpaare hinter einander gesetzt werden; wir müssen aber 2 Doppelelemente nehmen,

Fig. 297.

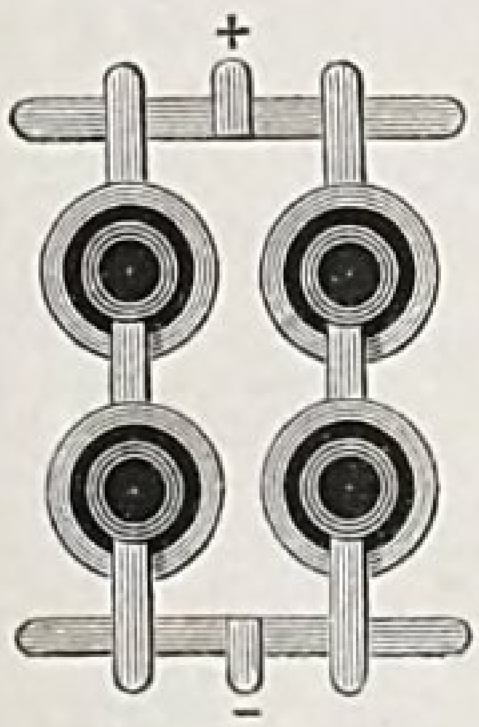
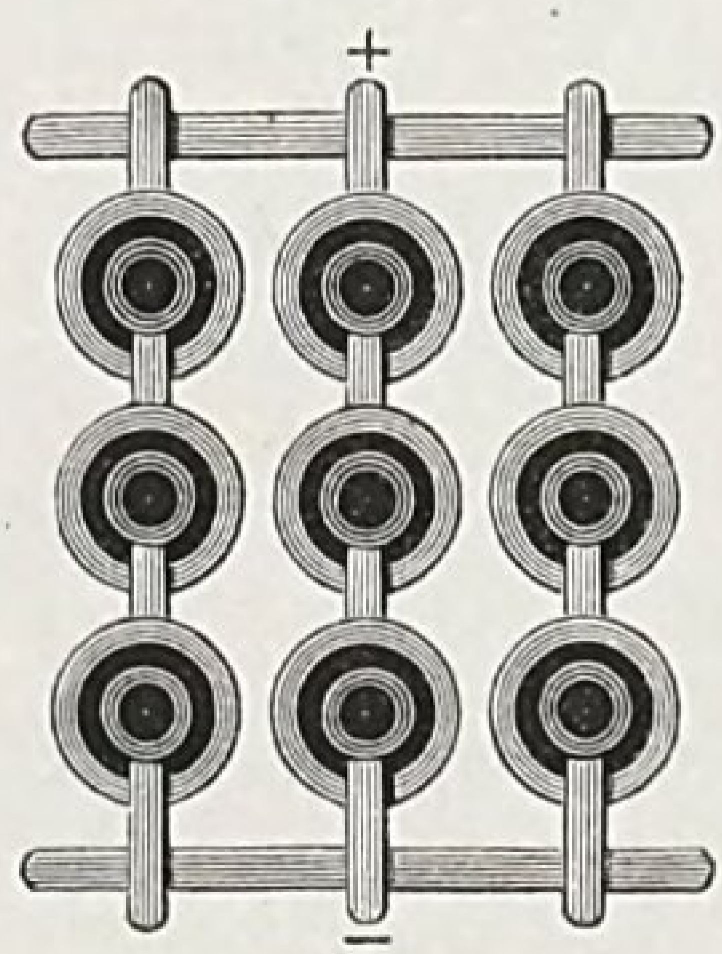


Fig. 298.



wenn ihr Widerstand ebenso gross sein soll wie der eines einzelnen Elementes; die Combination Fig. 297 wird also eine 2 mal, die Combination Fig. 298 wird eine 3 mal so grosse Stromstärke geben, als ein einzelner Becher.

Der specifische Leitungswiderstand. Am Schlusse des §. 98 haben wir bemerkt, dass der Leitungswiderstand ausser von Länge und Querschnitt insbesondere noch von dem Materiale des Leiters abhängig ist. Die Zahl nun, welche angiebt, wie vielmal grösser bei gleichen Dimensionen der Leitungswiderstand eines Metalles ist als der eines anderen, welches man zur Einheit annimmt, wird der specifische Leitungswiderstand genannt. Auf Kupfer bezogen ist beispielsweise der specifische Leitungswiderstand des Eisens gleich 6 und der des Messings gleich 4. 101

Der Werth des specifischen Leitungswiderstandes für die meisten Metalle ist von mehreren Physikern und zwar nach verschiedenen zum Theil noch später zu besprechenden Methoden bestimmt worden. Die folgenden Tabellen enthalten eine Zusammenstellung der zuverlässigsten Resultate und zwar die erste, wenn man den specifischen Leitungswider-

stand des **Kupfers**, die zweite, wenn man den des **Quecksilbers** zur Einheit nimmt.

Namen der Metalle	Ohm	Lenz	Becquerel	Matthiessen	Riess
Kupfer	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00
Silber	2·80	0·73	0·91	0·77	0·67
Gold	1·74	1·25	1·41	1·38	—
Aluminium	—	—	—	2·29	—
Zink	3·00	—	3·81	2·82	—
Messing	—	—	—	—	3·57
Eisen	5·72	5·60	7·41	5·36	5·88
Zinn	5·95	3·25	6·53	6·76	—
Platin	5·83	7·12	11·54	7·35	6·66
Blei	10·36	6·86	11·06	9·96	—
Antimon	—	11·29	—	18·07	—
Quecksilber	—	21·58	52·89	47·48	—
Wismuth	—	38·61	—	64·52	—
Neusilber	—	—	—	10·09	11·33
Graphit	—	—	—	1106·0	—
Gaskohle	—	—	—	2037·0	—

Die von **Riess** angegebenen Zahlenwerthe sind nach der in §. 59 besprochenen Methode bestimmt.

Namen der Metalle	Matthiessen	Siemens	Müller
Quecksilber	1·0000	1·0000	1·0000
Silber	0·0163	0·0156	0·0154
Kupfer	0·0210	0·0182	0·0182
Messing	—	0·0833	0·0720
Zink	0·0594	—	0·0857
Eisen	0·1129	—	0·1176
Platin	0·1548	0·1212	0·1314
Blei	0·2098	—	0·3250
Neusilber	0·2125	—	0·3527

Für ein und dasselbe Metall differiren die von verschiedenen Beobachtern gefundenen Werthe des specifischen Leitungswiderstandes oft

sehr bedeutend. Der Grund dieser Abweichungen dürfte übrigens weniger in der Mangelhaftigkeit der Methoden oder in Beobachtungsfehlern zu suchen sein, als vielmehr in dem Umstande, dass die Drähte, mit welchen sie experimentirten, nicht immer chemisch rein waren. Der Leitungswiderstand gut leitender Metalle, wie Kupfer und Silber, wird nämlich schon durch einen geringen Zusatz schlechter leitender Metalle bedeutend vermehrt.

Aber auch ohne fremden Metallgehalt kann der Leitungswiderstand der Kupferdrähte sehr bedeutend variiren, je nachdem sie mehr oder weniger durch Kupferoxydul verunreinigt sind, welches sich beim Schmelzen des Kupfers in Berührung mit der Luft leicht bildet. Oxydulfreies Kupfer leitet den elektrischen Strom fast eben so gut wie Silber.

Auch der physikalische Zustand der Metalle ist von wesentlichem Einfluss auf ihren specifischen Leitungswiderstand. Weiche Drähte sind meist besser leitend als gehärtete. Ja für einen und denselben Draht nimmt der Leitungswiderstand etwas zu, wenn er längere Zeit zur Leitung starker Ströme dient.

Dass die Angaben für Legirungen, wie Messing und Neusilber, sehr bedeutend differiren, ist sehr begreiflich, da die Drähte, mit welchen verschiedene Physiker experimentirt haben, wohl sehr ungleich zusammengesetzt waren.

Wiedemann und Franz haben gezeigt, dass die elektrische Leitungsfähigkeit (der reciproke Werth des specifischen Leitungswiderstandes, also $c = \frac{1}{s}$, wenn mit c die Leitungsfähigkeit und mit s der Leitungswiderstand bezeichnet wird) sehr nahe in demselben Verhältnisse steht, wie ihre Leitungsfähigkeit für die Wärme, wie man aus folgender kleinen Tabelle sieht.

	Leitungsfähigkeit	
	thermische	elektrische
Silber	100	100
Kupfer	73·6	79·3
Zink	28·1	27·3
Zinn	14·8	17·0

Die besten Elektricitätsleiter sind also auch die besten Wärmeleiter.

Leitungswiderstand der Legirungen. Ueber die Leitungsfähigkeit der Metalllegirungen hat Matthiessen eine sehr umfangreiche Untersuchung angestellt (Pogg. Annal. CX). Er fand, dass die 102

Metalle hinsichtlich des Verhaltens ihrer Legirungen in zwei Classen getheilt werden können, nämlich

A. diejenigen Metalle, welche, wenn mit einander legirt, die Elektricität in dem Verhältniss ihrer relativen Volumina leiten;

B. diejenigen Metalle, welche, legirt mit einem Metall der Classe *A* oder mit einander legirt, die Elektricität nicht im Verhältniss ihrer Volumina, sondern stets schlechter leiten.

Zur Classe *A* gehören: Blei, Zinn, Cadmium und Zink.

Zur Classe *B* gehören: Wismuth, Quecksilber, Antimon, Eisen, Aluminium, Gold, Kupfer, Silber etc.

Als Beispiel des Verhaltens der Metalle der ersten Classe mögen die Zahlen der folgenden kleinen Tabelle dienen:

	Leitungsfähigkeit beob.	Leitungsfähigkeit berech.
100 Zink legirt mit 0 Vol.-Proc. Zinn . . .	27·4	27·4
69·6 „ „ „ 30·4 „ „ . . .	22·3	22·5
12·5 „ „ „ 87·5 „ „ . . .	13·2	13·4
0 „ „ „ 100 „ „ . . .	11·4	11·4

Die beobachtete Leitungsfähigkeit der Legirung ist also in der That sehr nahe gleich der berechneten.

Als Beispiel des Verhaltens, welches Legirungen zeigen, die aus einem Metall der zweiten Classe mit einem Metall der ersten bestehen, mag folgende Tabelle dienen:

	Leitungsfähigkeit beob.	Leitungsfähigkeit berech.
100 Silber legirt mit 0 Vol.-Proc. Zinn . . .	100	100
98 „ „ „ 2 „ „ . . .	23·0	98·2
39 „ „ „ 61 „ „ . . .	14·3	46·3
10 „ „ „ 90 „ „ . . .	11·5	20·1
0 „ „ „ 100 „ „ . . .	11·4	11·4

Die Veränderung, welche die Leitungsfähigkeit des Silbers durch einen Zusatz von Zinn erleidet, wird durch die unterste Curve der Fig. 299 anschaulich gemacht. Die Abscissen sind proportional den Volumprocenten des zugesetzten Zinns, die Ordinaten sind proportional der Leitungsfähigkeit der Legirung aufgetragen.

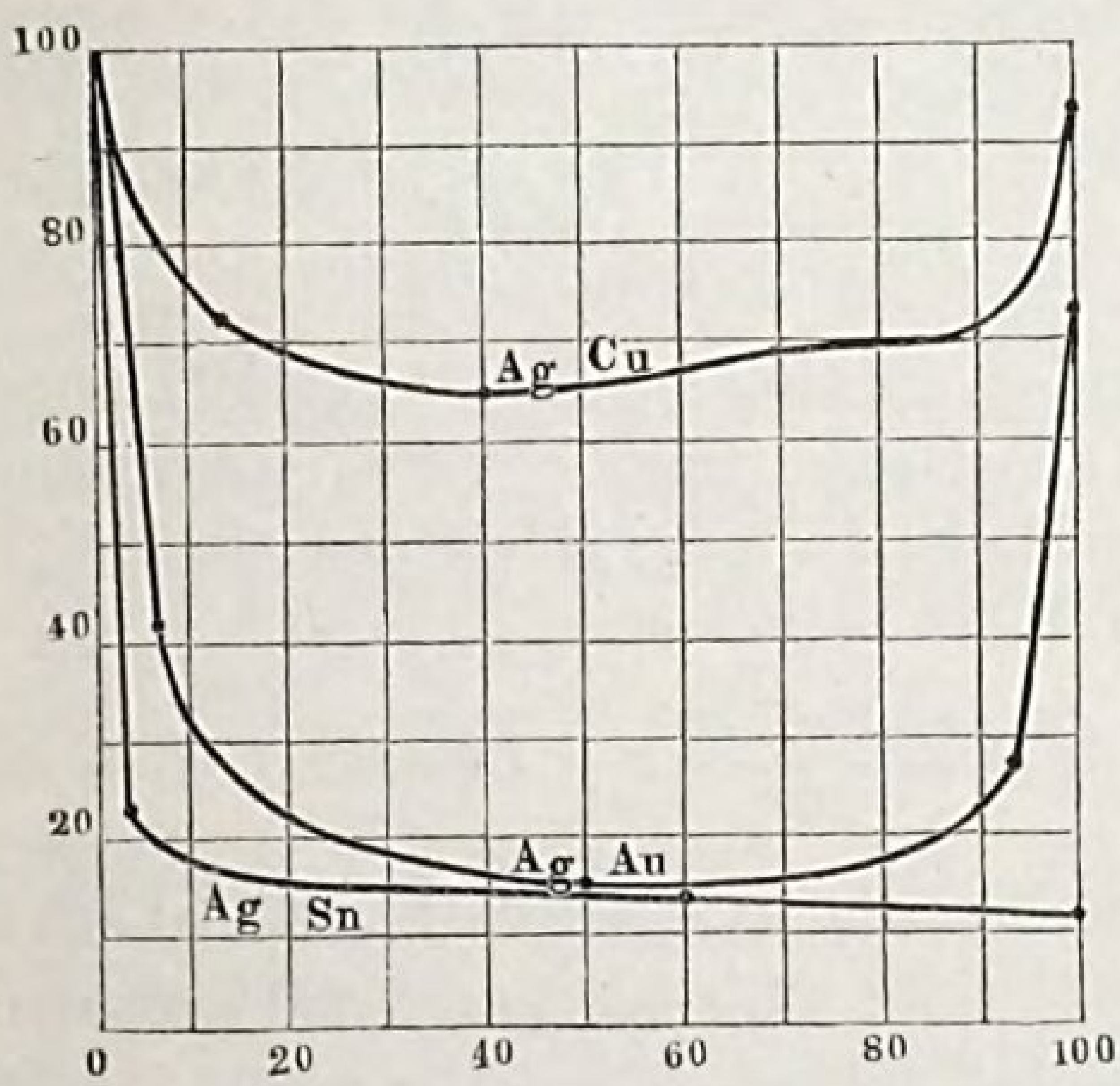
Man übersieht hier leicht, wie rasch die Leitungsfähigkeit schon bei einem ganz geringen Zusatz von Zinn abnimmt, um dann bei wachsendem Zinngehalt allmälig bis zur Leitungsfähigkeit des reinen Zinns abzunehmen.

Für die meisten Legirungen von zwei Metallen der zweiten Classe ist es charakteristisch, dass die Leitungsfähigkeit eines jeden schon durch einen geringen Zusatz des andern bedeutend abnimmt, wie dies z. B. bei den Legirungen von Silber mit Gold und mit Kupfer der Fall ist und wie man aus der folgenden Tabelle ersieht.

		Leitungsfähigkeit beob.	Leitungsfähigkeit berech.
100 Silber legirt mit	0 Vol.-Proc. Gold	100	100
94 „ „ „	6 „ „	41·2	98·4
80 „ „ „	20 „ „	21·0	94·6
50 „ „ „	50 „ „	14·6	86·5
6 „ „ „	94 „ „	26·4	74·5
0 „ „ „	100 „ „	73·0	73·0
100 Silber legirt mit	0 Vol.-Proc. Kupfer	100	100
98·0 „ „ „	2·0 „ „	83·4	99·9
86·9 „ „ „	13·1 „ „	67·5	99·1
61·1 „ „ „	38·9 „ „	64·9	97·3
36·7 „ „ „	63·3 „ „	68·0	95·7
10·0 „ „ „	90·0 „ „	70·0	93·8
2·0 „ „ „	98·0 „ „	79·4	93·3
0 „ „ „	100·0 „ „	93·0	93·0

In Fig. 299 stellt die mittlere Curve dar, wie die Leitungsfähigkeit einer Legirung von Silber und Gold von ihrer Zusammensetzung abhängt. Ebenso bezieht sich die oberste Curve auf die Legirungen von Silber und Kupfer.

Fig. 299.



Schon ein Gehalt von ungefähr $2\frac{1}{2}$ Volum-Procenten an Gold bringt die Leitungsfähigkeit des Silbers bis auf die des Goldes herab, bei fernerem Zusatze von Gold sinkt die Leitungsfähigkeit der Legirung rasch unter die Leitungsfähigkeit des Goldes, um für einen Gehalt von 50 Volum-Procenten Gold ein Minimum zu erreichen. Bei fernerer Zunahme des Goldgehaltes steigt dann die Leitungsfähigkeit der Legirung wieder, und zwar erst langsam, dann aber von ungefähr 94 Procent Goldgehalt an sehr rasch.

Ein ähnliches Verhalten zeigen die Legirungen von Silber und Kupfer, wie man sowohl aus obiger Tabelle, als auch aus der obersten Curve der Fig. 299 ersieht, nur sinkt hier das Minimum der Leitungsfähigkeit bei weitem nicht so tief, wie bei den Legirungen aus Silber und Gold.

104 **Einfluss der Temperatur auf den Leitungswiderstand der Metalle.** Der specifische Leitungswiderstand der Metalle ändert sich mit der Temperatur und zwar nimmt er zu, wenn die Temperatur steigt. Es ist dies leicht durch den Versuch nachzuweisen, man braucht nur in den Schliessungsbogen eines constanten Rheomotors, etwa eines Bunsen'schen Bechers, die Tangentenbussole und ausserdem noch einen ungefähr 1 m langen und gegen 1 mm dicken spiralförmig aufgewundenen Platin- oder Eisendraht einzuschalten. Die Tangentenbussole wird eine bestimmte Ablenkung zeigen. Erwärmt man nun den Draht mittelst einer starken Weingeist- oder Gaslampe, so geht die Nadel zurück, ein Beweis, dass der Widerstand des Drahtes zugenommen hat.

Um die Grösse des Leitungswiderstandes der Metalldrähte für verschiedene Temperaturen zu ermitteln, hat E. Becquerel den wohl übersponnenen Draht auf ein Glasröhrchen aufgewunden, mit einem Thermometer in ein mit Oel gefülltes Proberöhrchen getaucht und dann das Oel erwärmt. Nach seinen Bestimmungen ist der Leitungswiderstand für

Silber	$100 + 0{\cdot}4022t$
Kupfer	$100 + 0{\cdot}4097t$
Eisen	$100 + 0{\cdot}4726t$
Platin	$100 + 0{\cdot}1861t$
Quecksilber . . .	$100 + 0{\cdot}1040t$

Nach Arndtsen ist er für

Neusilber	$100 + 0{\cdot}0387t$
Messing	$100 + 0{\cdot}1662t$

wenn man den Leitungswiderstand des Metalles bei 0⁰ mit 100 bezeichnet und t die Anzahl der Celsius'schen Grade angiebt, um welche es über 0^0 erwärmt ist. Der specifische Leitungswiderstand eines Metalldrahtes bei t^0 ist demnach durch die Gleichung

$$s_t = s_0 \left(\frac{100 + at}{100}\right)$$

ausgedrückt, wenn man s_0 denselben für 0^0 bezeichnet. Setzt man z. B. für Eisen $s_0 = 5{\cdot}88$, $a = 0{\cdot}4726$, so ergiebt sich der specifische Leitungswiderstand des Eisens für 100^0 gleich 8·66.

Arndtsen (Pogg. Annal. LIV) fand für alle nicht legirten Metalle den Factor a sehr nahe gleich (und zwar zwischen 0·327 und 0·413) und vermuthet deshalb, dass er für ganz reine Metalle genau derselbe sei, eine Vermuthung, für welche auch Matthiessen's neuere Versuche sprechen (Pogg. Annal. CXV).

Nach Lenz und Matthiessen ist die Zunahme der Leitungsfähigkeit nicht genau der Temperaturzunahme proportional. Für 10 von ihm untersuchte Metalle findet er die Formel

$$s_t = s_0\,(1 - 0{\cdot}0037674\,t + 0{\cdot}00000834\,t^2).$$

Wenn diese Formel auch für höhere Temperaturen noch gültig wäre, so müsste die Leitungsfähigkeit aller Metalle für 226° ein Minimum sein und für 452° wäre sie wieder gleich der Leitungsfähigkeit bei 0°.

Es ist dies nicht allein sehr unwahrscheinlich, sondern es steht auch im Widerspruch mit den Resultaten der Versuche, welche über den Leitungswiderstand glühender Drähte gemacht worden sind.

Nach Müller in Wesel ist der specifische Leitungswiderstand eines dunkelroth glühenden Eisendrahtes gleich 32, eines hellroth-glühenden 48. Nach J. Müller's Bestimmungen ist der Leitungswiderstand eines fast weissglühenden Eisendrahtes nahe 11 mal so gross als bei gewöhnlicher Lufttemperatur.

Einheit des Leitungswiderstandes. Um vergleichbare Be- 104
stimmungen elektrischer Leitungswiderstände zu erzielen, muss man sich über eine Einheit des Leitungswiderstandes verständigen.

Jacobi schlug als solche vor: den Widerstand eines Kupferdrahtes von 1 m Länge und 1 mm Durchmesser. Nach dieser Einheit gemessen ist der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes, welcher l Meter lang ist und dessen Durchmesser d Millimeter beträgt,

$$R = s\,\frac{l}{d^2},$$

wenn s den specifischen Widerstand des Metalls, aus welchem der Draht besteht, in Beziehung auf Kupfer bezeichnet. Demnach ist der Leitungswiderstand eines 3 m langen, 0·4 mm dicken Platindrahtes gleich $7{\cdot}35\,\frac{3}{0{\cdot}16} = 137$, wenn man als specifischen Leitungswiderstand des Platins den von Matthiessen ermittelten Werth nimmt, wie er in der ersten Tabelle a. S. 310 angegeben ist.

Einen nach dieser Einheit gemessenen Widerstand wollen wir allgemein mit R $\frac{\text{Meter}}{\text{Millimeter}}$ Cu bezeichnen; der Leitungswiderstand des eben besprochenen Platindrahtes wäre also 137 $\frac{\text{Meter}}{\text{Millimeter}}$ Cu.

Es ergab sich aber bald, dass Widerstandsmaasse, welche nach dieser Definition in verschiedenen Werkstätten angefertigt worden waren, bedeutende Differenzen zeigten, was nach den Bemerkungen am Schluss des §. 101 kaum anders erwartet werden kann. Jacobi hat deshalb später diesen ersten Vorschlag vollständig fallen lassen und einen ganz willkürlich gewählten Kupferdraht (er war 7·62 m lang, 0·667 mm dick und war auf die flachen Schraubenwindungen eines Serpentincylinders aufgewunden), der nur durch Copiren vervielfältigt werden sollte, zum Widerstandsetalon bestimmt. Von diesem Etalon, der zu der $\frac{\text{Meter}}{\text{Millimeter}}$ Cu Einheit in gar keinem Zusammenhange steht, sandte

Jacobi selbst mehrere Copien an verschiedene Physiker, in der Meinung, dass sie sich dieses Etalons als elektrischer Widerstandseinheit bedienen sollten. Andere Copien dieses Etalons sind von Leyser in Leipzig angefertigt worden. Es zeigte sich aber bald, dass verschiedene Copien dieses Etalons bis zu 8 Procent von einander differirten und dass selbst der Leitungswiderstand eines und desselben Exemplars nicht unverändert blieb. Jacobi ist deshalb auch von diesem zweiten Vorschlage zurückgekommen und hat sich für die sogleich zu besprechende Siemens'sche Quecksilbereinheit erklärt.

Weber hat diesen Uebelstand dadurch beseitigt, dass er die Leitungswiderstände auf ein absolutes, später noch näher zu besprechendes Maass bezog. Nun ist aber einerseits die Definition dieses absoluten Widerstandsmaasses ziemlich complicirt, andererseits bedarf es zur experimentellen Bestimmung des Leitungswiderstandes gegebener Drähte nach absolutem Maass sehr vollkommener Instrumente und besonders dazu eingerichteter Locale, was einer allgemeinen Verbreitung desselben sehr im Wege steht. So werthvoll also auch die Weber'sche absolute Widerstandseinheit für die Wissenschaft ist, so ist es doch namentlich auch für technische Zwecke wünschenswerth, eine andere Widerstandseinheit zu besitzen, welche sich leicht und doch mit grosser Genauigkeit reproduciren lässt.

Diese Bedingungen erfüllt die Siemens'sche Quecksilbereinheit. Siemens schlug nämlich vor, eine Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° C. zur Widerstandseinheit zu nehmen. Diese Einheit hat den grossen Vorzug, dass man das Quecksilber stets in genügender Reinheit erhalten kann, dass es unabhängig ist von den Verschiedenheiten der Molecularzustände, welche feste Körper zeigen, und dass der Leitungswiderstand des Quecksilbers sich sehr wenig ändert, wenn die Temperatur steigt.

Um eine Quecksilbersäule herzustellen, bringt man dasselbe in ein möglichst cylindrisches Glasrohr, welches bei horizontaler Lage auf jeder Seite in ein Quecksilbergefäss einmündet. In diese Quecksilbergefässe werden die dicken kupfernen Zuleitungsdrähte eingetaucht.

Bezeichnen wir die Länge des Rohres mit l, seinen Halbmesser mit r, so ist der Leitungswiderstand der darin enthaltenen Quecksilbersäule

$$R = \frac{l}{\pi r^2},$$

wenn l in Metern, r in Millimetern ausgedrückt ist, oder

$$R = \frac{0{\cdot}001\, l}{\pi r^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

wenn r und l in Millimetern ausgedrückt sind.

Der Cubikinhalt der Röhre ist aber $V = \pi r^2 l$, also das in Milligrammen ausgedrückte Gewicht des darin enthaltenen Quecksilbers

$G = \pi r^2 l \sigma$, wenn σ das specifische Gewicht des Quecksilbers bezeichnet und r und l in Millimetern ausgedrückt sind, daraus aber folgt

$$r^2 = \frac{G}{\pi l \sigma}$$

und wenn man diesen Werth von r^2 in Gleichung 1) setzt

$$R = \frac{l^2 \sigma}{1000\, G} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

wonach man leicht den Leitungswiderstand R der Quecksilbersäule berechnen kann, wenn man die Länge l des Glasrohres gemessen und das Gewicht G des darin enthaltenen Quecksilbers bestimmt hat.

Nun aber ist wohl kaum eine Glasröhre zu finden, welche vollkommen cylindrisch ist; die Gleichung 2) bedarf deshalb noch einer Correction. Wie Siemens gezeigt hat (Pogg. Annal. CX) ist der genaue Werth des fraglichen Leitungswiderstandes

$$R = \frac{l^2 \sigma}{1000\, G} \cdot \frac{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

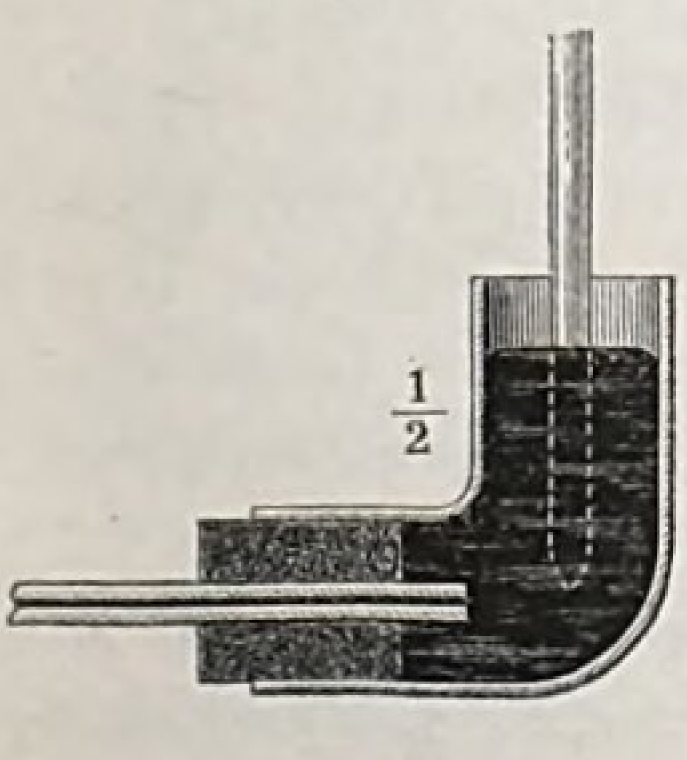
wenn a die Zahl ist, welche angiebt, wie viel mal der grösste Querschnitt der Röhre grösser ist als der kleinste. Um die Zahl a zu erhalten, lässt man einen Quecksilberfaden nach und nach von einem Ende der Röhre zum andern laufen und misst die Länge, die er an verschiedenen Stellen der Röhre einnimmt. Ist λ die grösste und λ' die kleinste Länge des Quecksilberfadens, so ist

$$a = \frac{\lambda}{\lambda'}.$$

Wo es nicht auf sehr grosse Genauigkeit ankommt, kann übrigens der Correctionsfactor der Gleichung 3) ganz vernachlässigt werden, da er für ziemlich stark conische Röhren, für welche $\frac{\lambda}{\lambda'} = 1{\cdot}3$ ist, erst den Werth 1·006 erreicht.

Jedes Ende des Glasrohres führte Siemens mittelst Kautschukverschlusses in ein weiteres, kurzes und rechtwinklig umgebogenes Glasrohr ein, welches mit Quecksilber gefüllt zur Aufnahme der dicken, kupfernen Zuleitungsdrähte dient, wie es Fig. 300 erläutert. Ist diese Vorrichtung in den Schliessungsbogen des Rheomotors eingeschaltet, so besteht der Widerstand, welchen sie dem Strom bietet, aus dem Widerstand des Quecksilberfadens im Glasrohr und dem Ausbreitungswiderstand, welchen der Strom in jedem der beiden Zuleitungsgefässe zu überwinden hat, um von der Mündung des Rohres zu dem kupfernen Zuleitungsdraht zu gelangen. Wie Siemens gezeigt hat, ist die Summe des Ausbreitungswiderstandes

Fig. 300.



in beiden Zuleitungsgefässen gleich dem Widerstand einer Quecksilbersäule, welche bei gleichem Querschnitt mit dem engen Glasrohr so lang ist wie der Radius desselben. Wo es also nicht auf grosse Genauigkeit ankommt, kann dieser Ausbreitungswiderstand ganz vernachlässigt werden.

Die folgende kleine Tabelle enthält eine vergleichende Zusammenstellung der verschiedenen Widerstandseinheiten.

Weber's absolutes Maass $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$	Siemens' Quecksilber-Einheit $\frac{\text{Meter}}{\text{Quadr.-Millimeter}}$ Hg	Jacobi Kupfer-Einheit $\frac{\text{Meter}}{\text{Millimeter}}$ Cu	Jacobi Etalon
1	0·9556	41·105	1·444
1·046	1	43·015	1·511
0·0243	0·0232	1	0·035
0·6925	0·6618	29·791	1

Von der Weber'schen Einheit kann erst später die Rede sein. Was die Zahlenwerthe für die Jacobi'sche Kupfereinheit betrifft, so beziehen sie sich auf Kupfer, dessen specifischer Leitungswiderstand

$$0{\cdot}0182 \frac{\text{Meter}}{\text{Quadr.-Mill.}} \text{Hg}$$

ist (s. Tabelle auf S. 310). Für andere Kupferdrähte könnten die Zahlen der dritten Verticalreihe sowohl wie die der dritten Horizontalreihe von den gegebenen bedeutend verschieden werden.

105 **Rheostate und Widerstandsetalons.** Um den Leitungswiderstand in dem Schliessungsbogen einer Volta'schen Säule stetig ändern zu können, haben Wheatstone, Jacobi, Poggendorff u. A. Apparate construirt, welche wir Rheostate nennen wollen. Fig. 301 und Fig. 302 stellen eine der zweckmässigsten im Wesentlichen von Wheatstone herrührenden Formen des Rheostats dar, und zwar ein Rheostat für dickeren Draht. Auf eine Walze von Serpentin oder Marmor ist eine Schraubenlinie ganz flach eingeschnitten und auf diese ein Metalldraht (Kupfer, wenn es sich um geringere, Neusilber, wenn es sich um bedeutendere Widerstände handelt) von $\frac{1}{2}$ bis 1 mm Durchmesser aufgewickelt, dessen Ende, auf der rechten Seite in die Masse des Cylinders eintretend, bis zur metallenen Axe desselben fortgeführt und hier aufgelöthet ist.

Gegen diesen Schraubendraht wird nun ein messingenes Röllchen *r* angedrückt, welches mit einer, der Dicke des Drahtes entsprechenden

Rinne versehen ist. Es ist auf einem Metallstab $a\,b$ verschiebbar, welcher an seinen beiden Enden auf starke Federn aufgeschraubt ist, die ihn gegen den Serpentincylinder hin drücken, wie dies aus Fig. 302 deut-

Fig. 301.

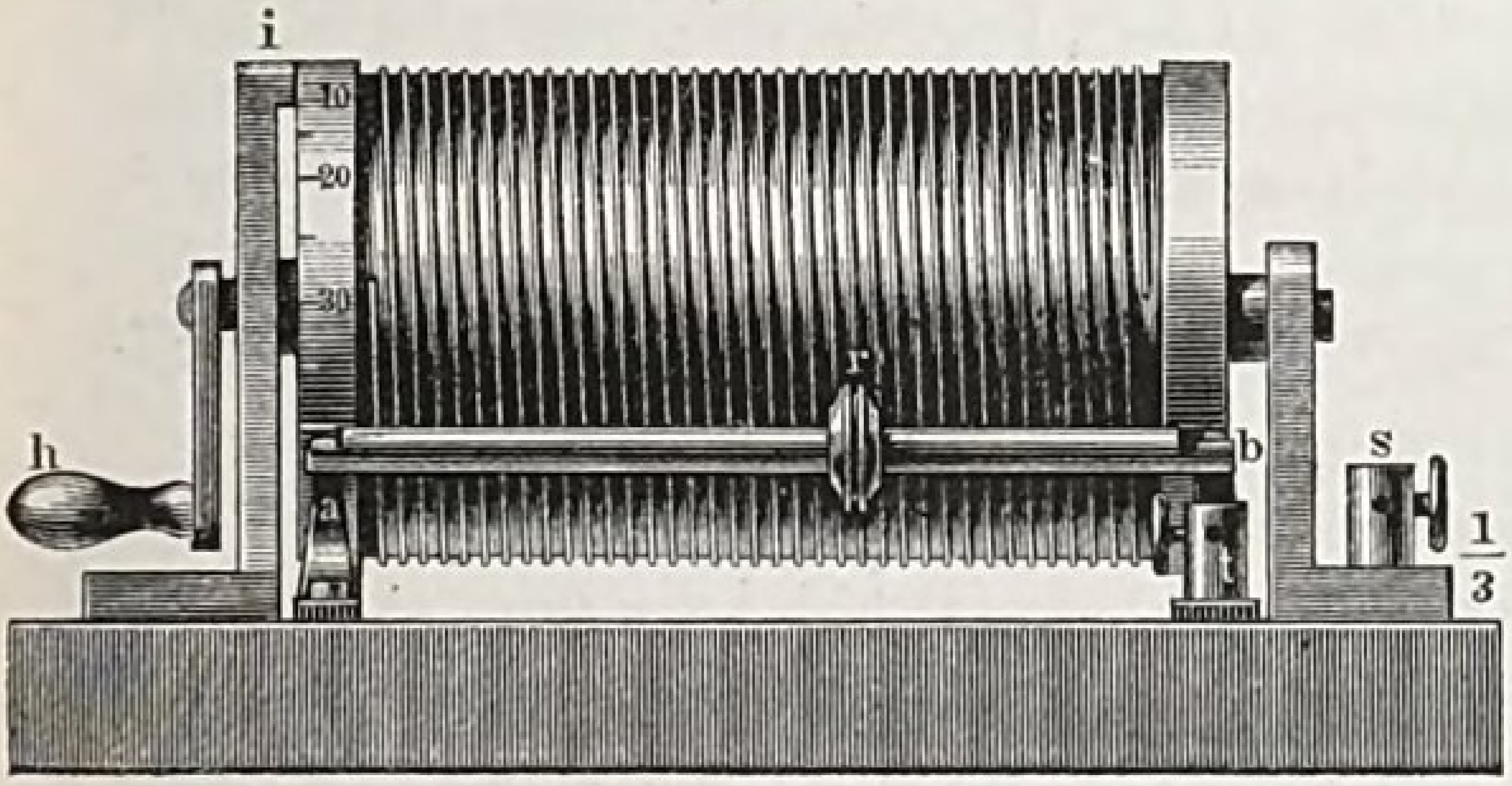
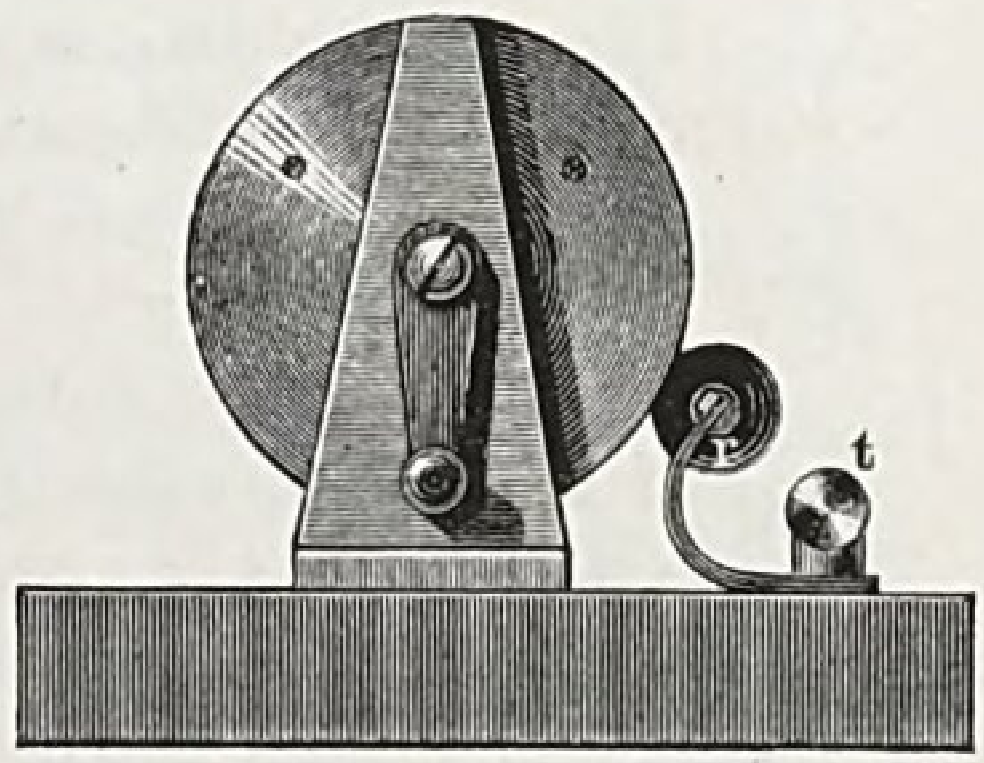


Fig. 302.



licher zu ersehen ist, welche den Apparat von der Seite der Kurbel *h* aus gesehen darstellt.

Es ist nun klar, dass, wenn die Kurbel *h* gedreht wird, alsdann die Rolle *r*, den Schraubenwindungen des Drahtes folgend, auf dem Stäbchen $a\,b$ nach der einen oder nach der anderen Seite fortgeschoben wird, je nachdem man die Kurbel nach der Rechten oder nach der Linken dreht.

Wenn nun dieses Instrument in der Weise in den Schliessungsbogen eines galvanischen Rheomotors eingeschaltet wird, dass der eine Zuleitungsdraht in das Messingsäulchen bei *s*, der andere in das Messingsäulchen bei *t* eingeschraubt wird, so gelangt der bei *s* eintretende Strom von da durch den messingenen Träger zur metallenen Axe des Steincylinders (die aber nicht durchgeht), von dieser auf den Draht, welcher auf den Cylinder aufgewickelt ist, und durchläuft dessen Windungen bis zur Rolle *r*, von welcher er dann über *b* zum Messingsäulchen *t* gelangt. Je nachdem man also durch Drehen mittelst der Kurbel *h* das Röllchen an eine andere Stelle des Drahtes bringt, kann man bewirken, dass der Strom eine grössere oder geringere Anzahl von Windungen dieses Drahtes durchläuft.

Der Stab $a\,b$ ist mit einer Theilung in der Art versehen, dass jeder Theilstrich einer Windung des Drahtes entspricht und dass das Röllchen auf dem Nullpunkt dieser Theilung steht, wenn seine Rinne gerade auf dem Anfangspunkte der Windungen, auf der rechten Seite des Cylinders aufsitzt. — Um noch Unterabtheilungen der Windungen ablesen zu können, ist die messingene Fassung des Steincylinders in 100 gleiche Theile getheilt und diese Theilung wird an einem Index bei *i* abgelesen.

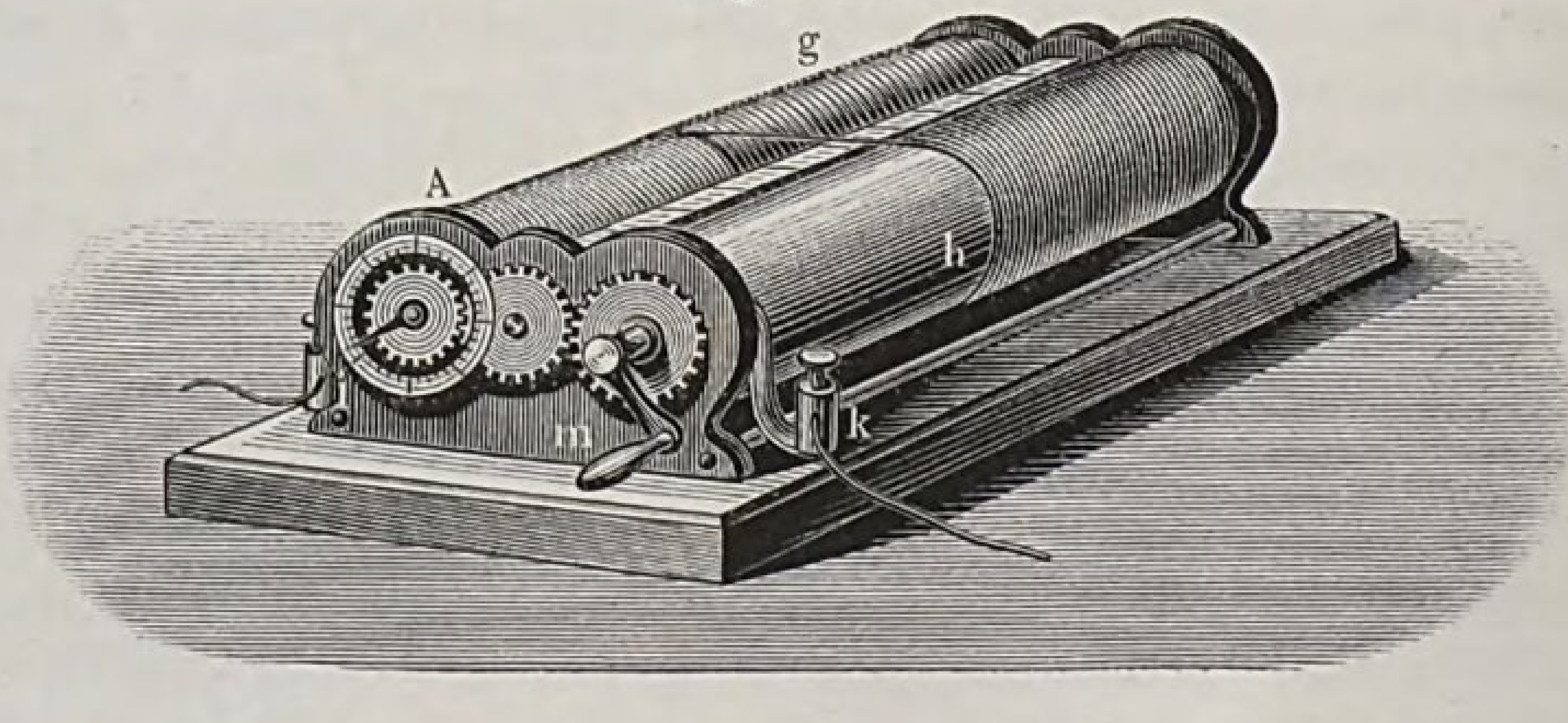
Nehmen wir an, in den durch möglichst kurze und dicke Kupferdrähte hergestellten Schliessungsbogen irgend eines Rheomotors, etwa eines einfachen Zinkkohlenbechers, sei nur noch eine Tangentenbussole und das auf Null gestellte Rheostat Fig. 301 eingeschaltet, so wird die Tangentenbussole eine gewisse Ablenkung zeigen, welche mehr und mehr

abnimmt, wenn das Rheostat so gedreht wird, dass das Röllchen *r* auf 10, 20, 30 etc. steht, weil nun ausser dem anfänglichen Widerstande noch der von 10, 20, 30 Umwindungen zu überwinden ist. Wenn man die einer jeden Stellung des Röllchens entsprechende Ablenkung notirt, so lassen sich mit dem Rheostat auf die bequemste Weise die in §. 99 besprochenen Versuche anstellen.

Um die durch Rheostatenwindungen gemessenen Widerstände nach irgend einer bestimmten Widerstandseinheit angeben zu können, muss man ermitteln, wie gross der Leitungswiderstand einer Rheostatenwindung, nach dieser Einheit gemessen, ist.

In Fällen, wo der Gesammtwiderstand der Kette sehr gross ist, würde man bedeutende Längen des dickeren Drahtes ab- oder aufwickeln müssen, um eine merkliche Aenderung der Stromstärke zu erzielen. In solchen Fällen muss man deshalb einen Rheostaten mit dünnem Draht anwenden. Fig. 303 stellt Wheatstone's Rheostat mit dünnem Draht dar. Es ist *g* ein Cylinder von trockenem Holze, ungefähr 16 cm lang und 4 cm im Durchmesser; *h* ist ein Cylinder von Messing, welcher dieselben Dimensionen hat. Die Axen beider Cylinder sind einander parallel. Auf dem Holzcylinder ist ein flaches Schraubengewinde eingeschnitten, und an einem seiner Enden (dem vorderen unserer Figur) trägt derselbe einen Messingring, an welchem das eine Ende eines langen, sehr dünnen Drahtes angelöthet ist. Dieser wird auf dem Holzcylinder so aufgewickelt, dass er die sämmtlichen Schraubengänge ausfüllt und dann mit seinem anderen Ende auf dem jenseitigen Ende des Messingcylinders befestigt. Die zum Einschrauben der Zuleitungsdrähte bestimmten Messingsäulchen *i* und *k* sitzen auf Metallfedern, von denen die eine gegen das vordere Ende des Messingcylinders *h*, die andere gegen den Messingring am vorderen Ende des Holzcylinders *g* drückt. Die abnehmbare Kurbel *m* dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man sie auf den Cylinder *h* und dreht nach der Rechten, so wird der Draht vom Holz-

Fig. 303.



cylinder *g* auf den Messingcylinder gewickelt; steckt man sie dagegen auf die Axe des Cylinders *g* und dreht man nach der Linken, so geschieht das Umgekehrte. Die Drahtwindungen bedecken nun den vor-

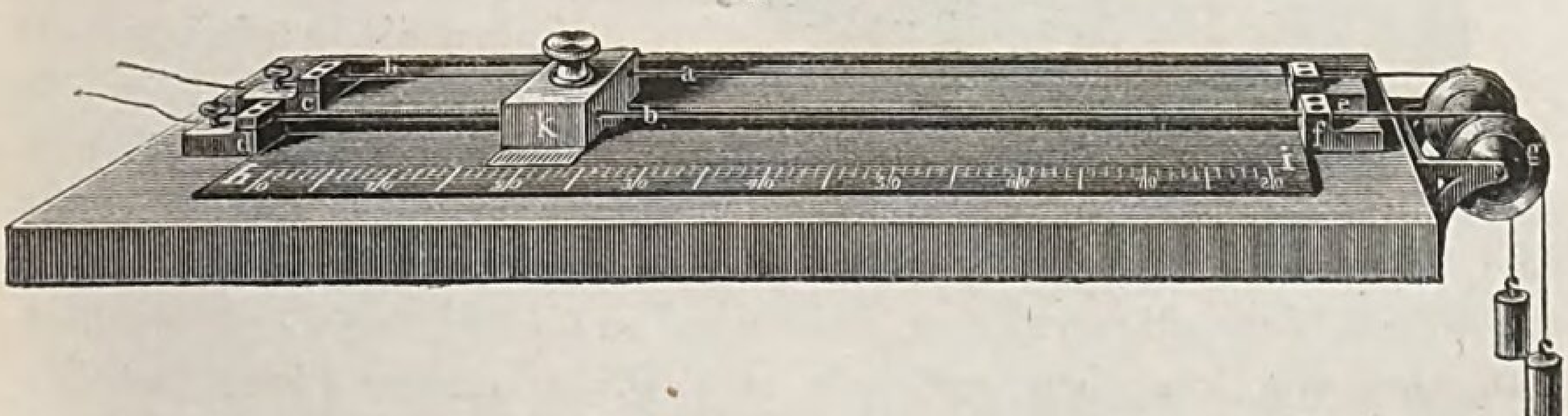
deren Theil des Holzcylinders g und den hinteren Theil des Messingcylinders h. Da die Windungen auf dem Holzcylinder isolirt sind und durch die in das Holz geschnittenen Schraubengänge von einander entfernt gehalten werden, so durchläuft der Strom ihrer ganzen Länge nach die Windungen des Drahtes, welche auf dem vorderen Theil von g aufgewickelt sind. Auf dem Messingcylinder h aber, wo die Drahtwindungen nicht mehr isolirt sind, geht der Strom von der Stelle, wo der Draht mit dem Messingcylinder in Berührung kommt, sogleich zu der Feder bei K. Der als Widerstand wirksame Theil des Drahtes ist also das veränderliche Stück desselben, welches sich auf dem Holzcylinder befindet, sammt dem Stückchen, welches die Verbindung zwischen den zwei Cylindern bildet.

Die Schraubengänge des Holzcylinders haben eine Höhe von $\frac{1}{2}$ mm. Der Draht ist von Messing oder Neusilber und hat $\frac{1}{4}$ mm im Durchmesser. Zur Zählung der abgewickelten Windungen ist eine Scala zwischen den beiden Cylindern angebracht, die Bruchtheile einer Windung aber werden mittelst eines Zeigers bestimmt, welcher an der Axe des Cylinders g befestigt auf die Theilstriche eines getheilten Kreises hinweist.

In folgender Weise kann man den Rheostaten benutzen, um den Leitungswiderstand eines gegebenen Drahtstücks zu ermitteln. In den Schliessungsbogen eines constanten Bechers wird der auf 0 gestellte Rheostat, die Tangentenbussole und der Draht A eingeschaltet, dessen Widerstand ermittelt werden soll, und dann der Theilstrich n der Bussole beobachtet, auf welchen sich die Bussolennadel einstellt. Nimmt man nun den Draht A aus dem Schliessungsbogen heraus, so wird die Nadel eine grössere Ablenkung zeigen, und um sie wieder auf den Theilstrich n zurückzubringen, muss man eine bestimmte Anzahl von Windungen des Rheostatendrahtes zu dem schon vorhandenen Widerstande hinzufügen. Man erfährt auf diese Weise, wie gross der Widerstand des fraglichen Drahtes ist, ausgedrückt in Windungen des Rheostaten. (Substitutionsmethode.)

Für genauere Untersuchungen mehr geeignet, als der oben beschriebene Rheostat ist Poggendorff's Rheocord, Fig. 304. Zwei Platindrähte a und b sind über ein Brett so ausgespannt, dass zwischen

Fig. 304.



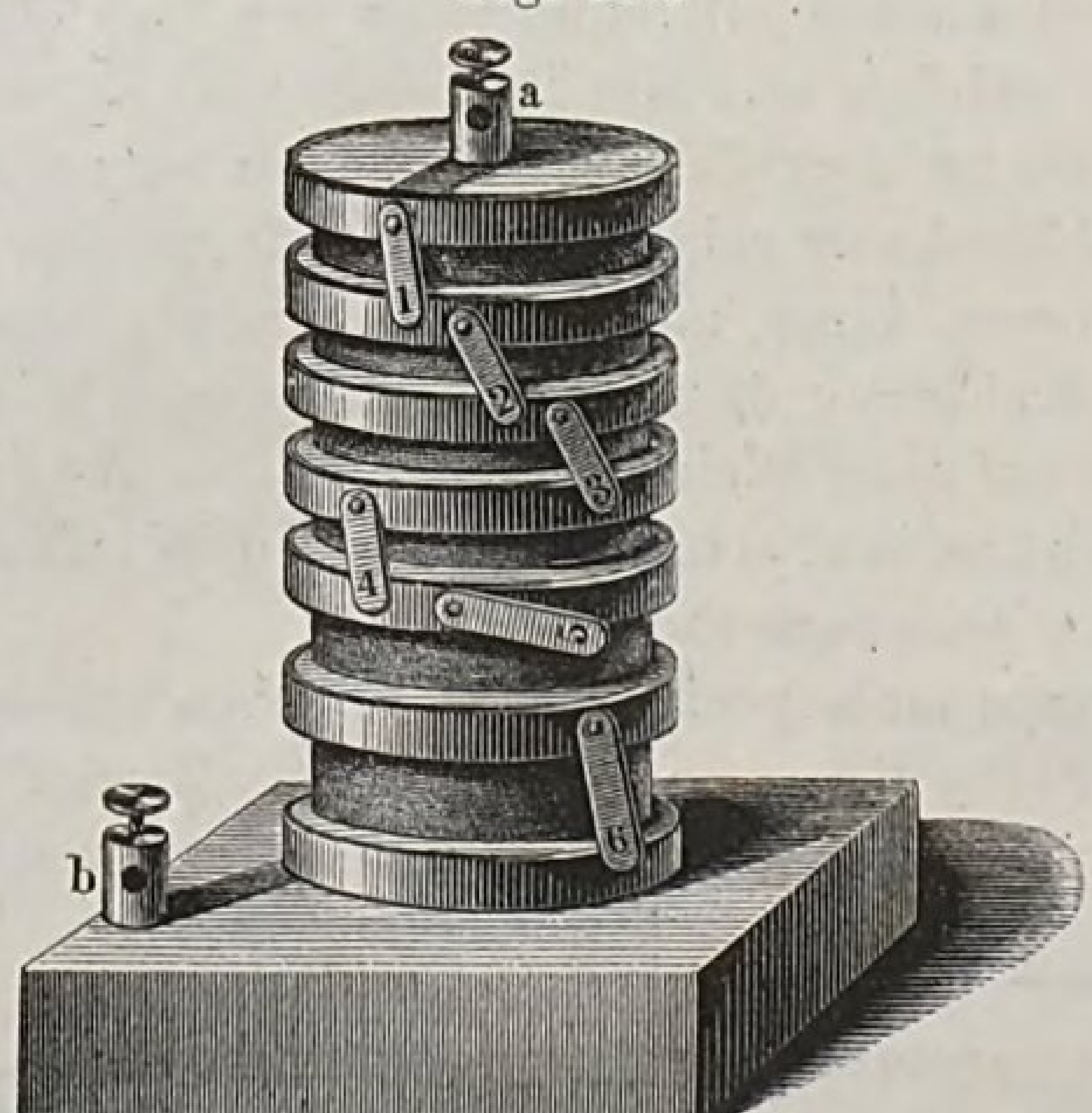
ihnen nur durch das sogleich zu besprechende Stück k eine leitende Verbindung besteht. Einerseits sind sie in die kupfernen Lager c und

d, andererseits in die Lager *e* und *f* eingeklemmt. Der Schieber *k* enthält ein viereckiges Kästchen von Eisenblech, dessen nach den Lagern gekehrte Seiten durch Scheiben von Glas oder Elfenbein gebildet sind. Die Drähte *a* und *b* sind durch kleine, sie gerade hindurchlassende Löcher in diesen Scheiben hindurchgezogen. Das Kästchen ist mit Quecksilber gefüllt. Sind nun in die Lager *c* und *d* die Poldrähte eines galvanischen Rheomotors eingeklemmt, so geht der Strom von *c* durch den Draht *a* zum Kästchen *k*, dann durch das Quecksilber in demselben zum Draht *b* und endlich durch den Draht *b* nach dem Lager *d*. Durch Verschiebung des Kästchens wird die Länge der durchströmten Drahtstücke geändert und man kann dieselbe auf einem messingenen Maassstab ablesen, welcher aber mit den Lagern, zwischen denen die Drähte ausgespannt sind, nicht in leitender Berührung sein darf.

In manchen Fällen, wo es sich nicht um eine stetige Aenderung des Leitungswiderstandes, sondern darum handelt, der Reihe nach verschiedene bekannte Widerstände in den Schliessungsbogen einzuschalten, ist der folgende von Eisenlohr construirte Apparat, den wir die Widerstandssäule nennen wollen, sehr bequem.

Er besteht aus einem Holzcylinder, Fig. 305, in welchem ringsum Vertiefungen eingedreht sind; auf den hervorragenden Theilen sind Messingringe befestigt. Zwei solcher Messingringe können durch ein bewegliches Brückchen von starkem Messing verbunden werden. In den Vertiefungen befinden sich die Windungen eines mit Seide übersponnenen Drahtes; das eine Ende desselben ist an den nächst oberen, das andere an den nächst unteren Messingring angelöthet. — Wenn zwischen je zwei Ringen die Brückchen herabgeschlagen, und in die beiden Klemmschrauben *a* und *b* die von dem Rheomotor kommenden Zuleitungsdrähte eingeschraubt sind, so geht der Strom von einem Ringe zum andern über, ohne dass auf diesem Wege ein merklicher Widerstand zu überwinden wäre. Schlägt man aber ein Brückchen auf, wie es z. B. in unserer Figur für das Brückchen Nr. 5 gezeichnet ist, so muss der Strom, um vom fünften zum sechsten Messingring zu gelangen, die zwischen ihnen befindlichen Drahtwindungen ihrer ganzen Länge nach durchlaufen; durch das Auf-

Fig. 305.

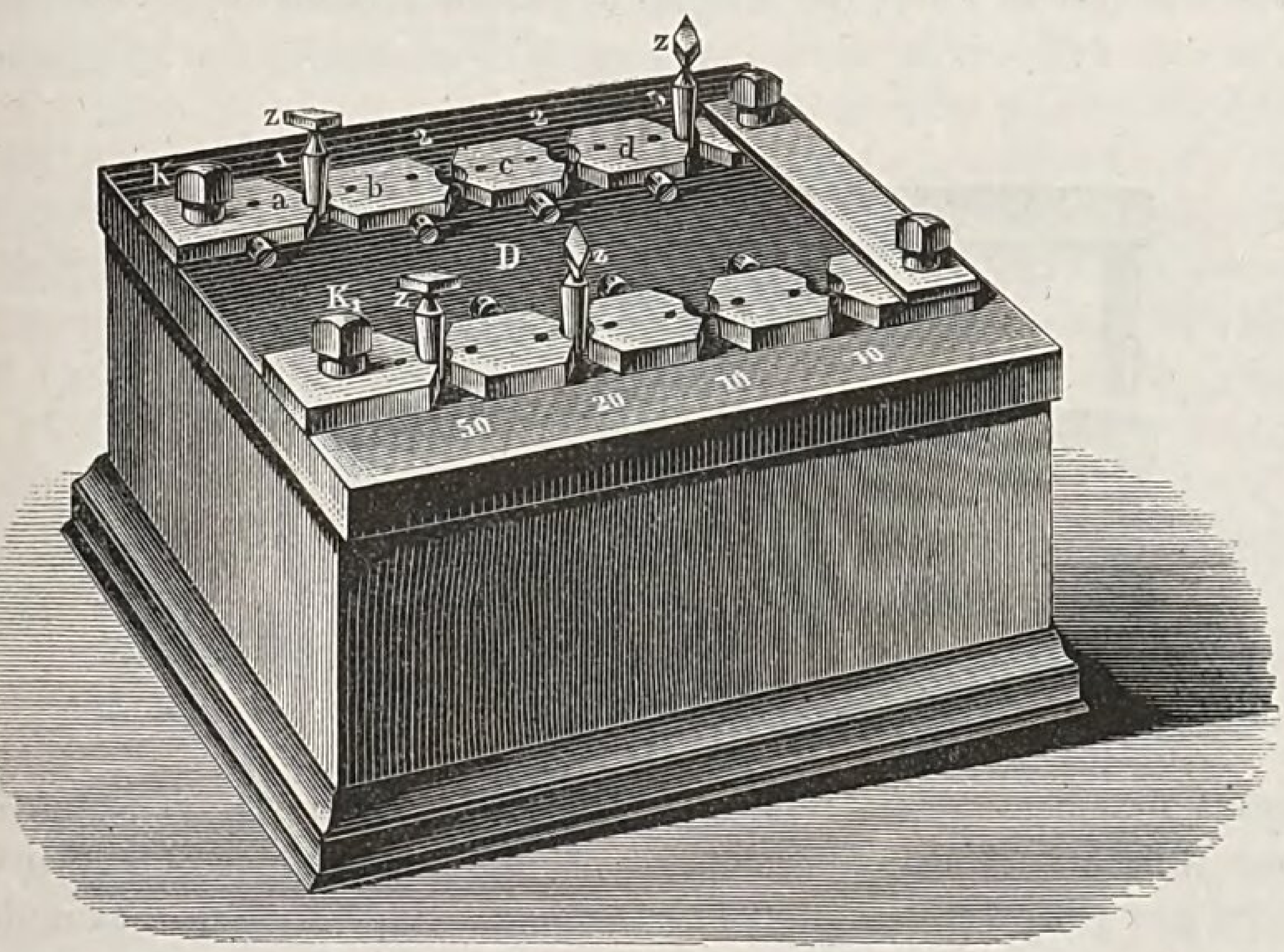


schlagen eines Brückchens wird also der Widerstand des entsprechenden Drahtstückes in den Schliessungsbogen der Kette eingeschaltet.

Was die Dimensionen einer solchen Widerstandssäule betrifft, so hängen sie natürlich von den Dimensionen des Drahtes ab, den man zu ihrer Construction verwenden will. Für geringere Widerstände wendet man Widerstandssäulen von dickerem Kupferdraht, für bedeutendere Widerstände aber solche von dünnerem Neusilberdraht an. Matthiessen empfiehlt hart gezogenen Draht aus einer Legirung von zwei Gewichtstheilen Gold und einem Theil Silber.

Die bequemste Form der Widerstandssäule ist unstreitig die des Siemens'schen Stöpselrheostats, wovon Fig. 306 eine Abbildung giebt. Auf dem aus Hartgummi angefertigten Deckel D eines Kästchens befinden sich eine Reihe prismatischer Messingstücke a, b, c, d etc., welche durch schmale Zwischenräume von einander getrennt sind. Die an einander grenzenden Seiten dieser Messingstücke sind mit bogenförmi-

Fig. 306.



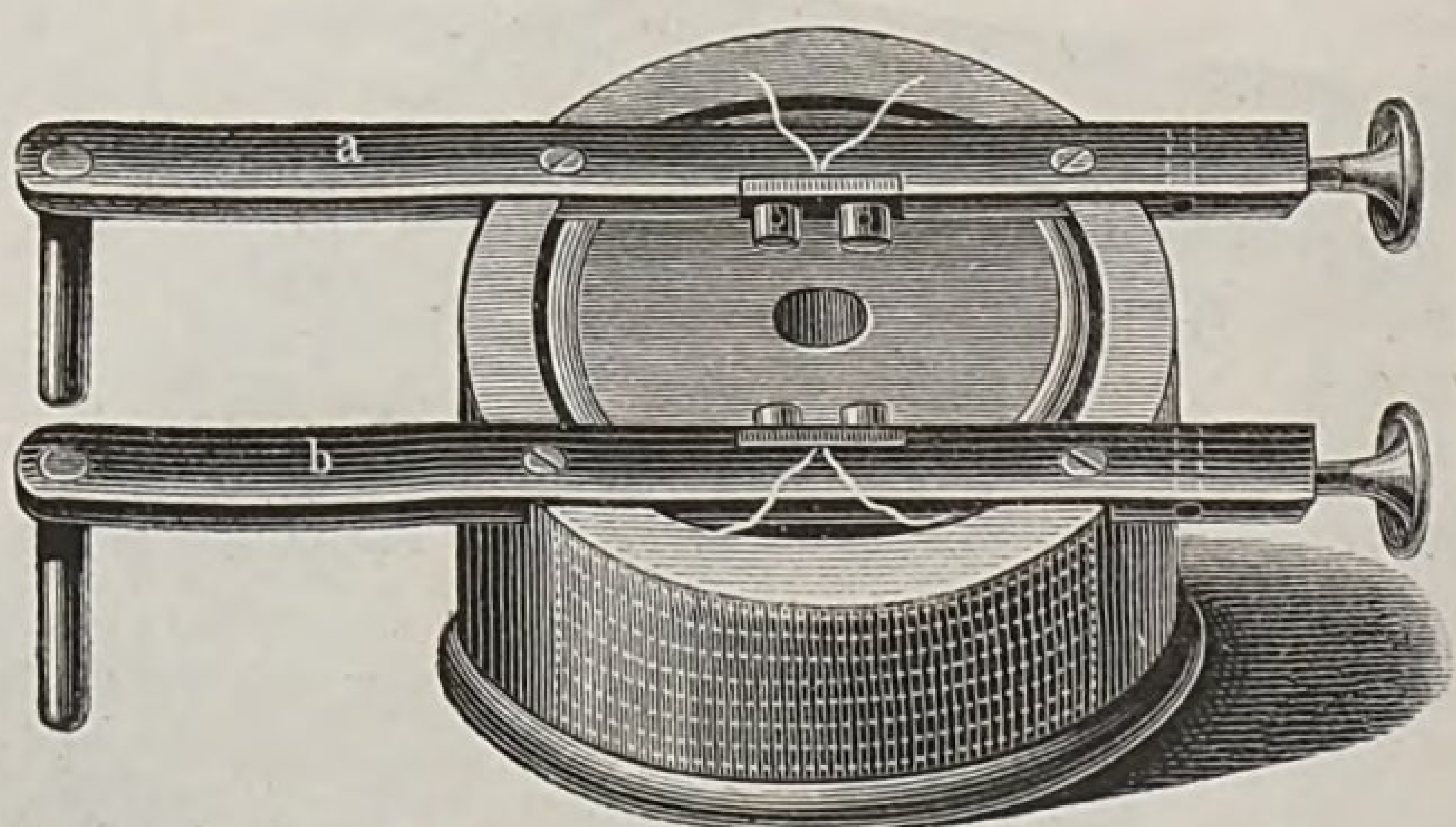
gen Ausschnitten versehen, so dass zwischen je zwei Stücke ein schwach conischer vergoldeter Messingzapfen z mit starker Reibung eingesetzt werden kann. Die äussersten Messingstücke der Reihe sind mit Klemmvorrichtungen k, k_1 zum Ansetzen von Drähten oder Blechstreifen versehen. Innerhalb der Kästchen sind nun ausserdem je zwei benachbarte Messingstücke durch aufgewundene isolirte Neusilberdrähte von genau bestimmtem Widerstande mit einander in Verbindung gesetzt. Diese Widerstände haben meistens eine nach dem Decimalsystem aufsteigende Grösse, wie dies auch bei den Gewichtssätzen üblich ist. Ein solcher

Apparat enthält beispielsweise die Widerstände 1, 2, 2, 5, 10, 20, 50, und ist dann geeignet, durch passende Combination die Widerstände 1, 2, 3 . . . bis 100 herzustellen.

Werden nämlich sämmtliche Stöpsel eingesteckt, so ist der Widerstand wegen des bedeutenden Querschnittes der Leitung gleich Null zu setzen. Zieht man dann einen oder mehrere Stöpsel heraus, so werden die betreffenden Drähte in die Leitung eingeschaltet, da der Strom dann nicht mehr direct quer von einem Messingstück zum anderen übergehen kann, sondern die Drahtwindungen durchlaufen muss. Fig. 306 zeigt die Einschaltung eines Widerstandes $= 2 + 2 + 10 + 10 = 24$.

Die beschriebene Anordnung hat den Uebelstand, dass bei stärkeren Strömen die Drähte sich erwärmen und deshalb den Widerstand vergrössern. Man spannt dieselben, um dies zu vermeiden, in Zickzacklinien in der Luft frei aus oder sorgt für Kühlhaltung derselben durch Einlegen in Flüssigkeiten, welche die Elektricität nicht leiten (Alkohol). Fig. 307 zeigt die Form der Siemens'schen Etalons der Widerstands-

Fig. 307.



einheit. In einer runden Holzbüchse, deren Deckel und Boden von einem 10 mm weiten Loch durchbrochen ist, ist ein gut isolirter Neusilberdraht von 0·9 mm Dicke und circa 2·7 m Länge in einer doppelt gewundenen Spirale eingelegt. Die Drahtenden sind mit zwei starken Messingstäben verbunden, welche einerseits amalgamirte Kupferdrähte zum Eintauchen in Quecksilbernäpfe, andererseits Klemmschrauben tragen. Manchmal ist auf der Büchse die Temperatur angeschrieben, für welche der Widerstand genau gleich 1 ist.

106 **Theoretische Ableitung und graphische Darstellung des Ohm'schen Gesetzes.** Bei der Zeichnung des Potentialdiagramms einer offenen Volta'schen Kette (S. 247) wurde angenommen, dass jeder einzelne der verbundenen Leiter seiner ganzen Ausdehnung nach auf demselben Potentialniveau steht. Das kann bei der

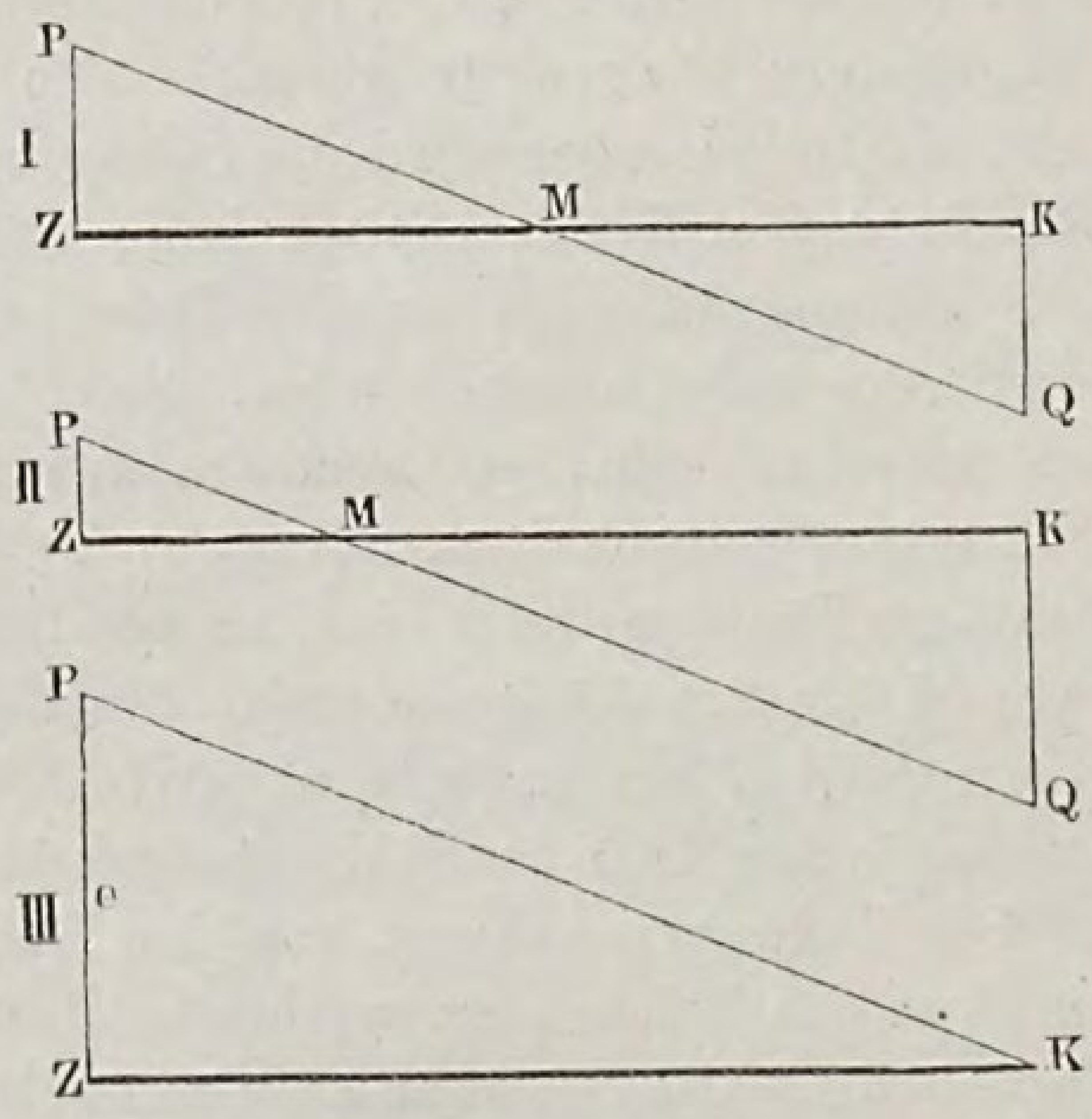
geschlossenen Volta'schen Kette, wie leicht einzusehen, nicht mehr der Fall sein. Verbinden wir die beiden Pole eines Elementes durch einen Draht mit einander, so entsteht der Strom, indem die Elektricität von den Stellen mit höherem Potentiale gegen jene mit niedrigerem abfliesst. Indem nun einerseits durch diesen Strom dahin gewirkt wird, die vorhandenen Potentialdifferenzen auszugleichen, andererseits dieselben durch die elektromotorische Kraft immer wieder hervorgerufen werden, muss ein stationärer Zustand eintreten, eine Art dynamischen Gleichgewichts zwischen der chemischen Action, welche die Elektricität erzeugt und der Action des Stromes, durch welche die Elektricität wieder verbraucht wird. Je rascher und ungehemmter die entgegengesetzten Elektricitäten zur Neutralisation gelangen können, je geringer also der Widerstand gegen den Strom ist, desto geringer wird die Spannungsdifferenz ausfallen, die sich an den Polen der Kette erhalten kann. Vollständig gleich Null kann diese Spannungsdifferenz an den Polen aber nicht werden, da sonst auch kein Strom mehr möglich wäre. Soll diese Spannung noch elektroskopisch messbar sein, so muss man einen Schliessungskreis von grossem Widerstande einschalten. Ermann zeigte, dass bei Schliessung einer vielpaarigen Säule mittelst einer nassen Hanfschnur oder einer Wassersäule von 1 bis 2 m Länge mittelst des Elektroskops an dem einen Pole freie positive, am anderen negative Elektricität nachzuweisen sei, und dass sich in der Mitte des Schliessungskreises eine indifferente Stelle befindet. Die Ladungen nehmen von den Enden gegen die Mitte allmälig ab, um dort das Zeichen zu wechseln. Leitet man einen der Pole zur Erde ab, so wird die Spannung an demselben gleich Null und steigt von dort bis zum anderen Pole nahe auf die doppelte Höhe von der früheren. Dasselbe Verhalten wurde von Ohm an einem Eisendrahte von ungefähr 100 m Länge, welcher eine 12elementige Batterie schloss, nachgewiesen und später von mehreren Physikern am ausführlichsten durch die genauen Versuche Kohlrausch's bestätigt.

Ebenso wie auf dem Schliessungsbogen, so kann auch auf den übrigen einzelnen Leitern einer geschlossenen Kette das Potentialniveau nicht constant sein. Auf den Metallplatten, welche in der Kette angewendet sind, ist wegen ihrer geringen Längenausdehnung in der Stromrichtung und ihrer guten Leitungsfähigkeit die Aenderung des Potentialniveaus wohl ganz verschwindend klein, aber an der Flüssigkeitssäule, welche die Platten verbindet, kann sie sehr merklich sein. Wir wollen nun zeigen, wie sich das Potentialdiagramm bei einem zusammengesetzten Leiter, in welchem eine oder mehrere elektromotorische Kräfte auftreten, gestaltet und zugleich den Nachweis führen, dass die aus dem Potentialwerthe berechnete Stromstärke stets dem Ohm'schen Gesetze entspricht.

Der erste und allereinfachste Fall ist jener, wo wir einen einzigen linearen Leiter von constanter Beschaffenheit vor uns haben,

an dessen Enden eine constante Potentialdifferenz hervorgebracht wird. Wir kommen der Verwirklichung dieses Falles sehr nahe, wenn wir uns eine in sich geschlossene ringförmige Flüssigkeitssäule von constantem Querschnitte vorstellen, die an irgend einer Stelle durch eine Kupfer-Zinkplatte unterbrochen ist, so dass das eine Ende der Flüssigkeitssäule mit dem Kupfer, das andere mit dem Zink in Berührung ist. Indem wir die Plattendicke vernachlässigen und den ganzen Stromkreis in eine gerade Linie ausgestreckt denken, gelangen wir zu dem Schema Fig. 308. Die Abscisse ZK bedeutet die Länge des Leiters, in unserem Beispiele der Flüssigkeitssäule, die Ordinaten ZP und KQ die Höhe des Potentiales an den Enden desselben. Die schiefe Linie PQ giebt durch ihre Ordinaten die Höhe des Potentials für die dazwischen liegenden Querschnitte des Leiters. Fig. 308 I. entspricht dem Fall, wo der ganze Leiter isolirt blieb, Fig. 308 II. dem Fall, wo er an irgend einem Punkte m zwischen Z und K zur Erde abgeleitet ist, endlich Fig. 308 III. dem Fall, wo der eine Pol K abgeleitet ist. Da nämlich die Potentialdifferenz zwischen den Enden Z und K constant bleiben muss, so werden durch Ableitung irgend einer Stelle alle Potentiale um eine constante Grösse erhöht oder vermindert.

Fig. 308.



Wir haben hier ein analoges Verhalten wie bei der Wärmeleitung längs eines Stabes ZK, der gegen seitliche Wärmeverluste geschützt und an seinen Enden auf constanter Temperaturdifferenz erhalten wird. Wie bei der Wärmeleitung nach Eintritt des stationären Zustandes die Temperaturen vom Ende Z bis zum Ende K gleichförmig abnehmen, so nimmt hier das Potential gleichförmig ab. Bei der Wärmeleitung ist die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt gehende Wärmemenge direct proportional dem Temperaturunterschiede zweier um die Länge Eins abstehender Schichten, ferner der Grösse des Querschnittes, endlich dem specifischen Wärmeleitungsvermögen des Stabmateriales. Bei der Elektricitätsleitung ist ganz analog die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt fliessende Elektricitätsmenge, das heisst die **Stromstärke direct proportional erstens dem Potentialunterschiede zweier um die Längeneinheit abstehender Stellen des Leiters, zweitens proportional der Grösse des Querschnittes, drittens proportional dem specifischen Leitungsvermögen**

des Materials des Leiters. Ist die Länge des ganzen Leiters l, der Potentialunterschied an dessen Enden $= e$, so ist $\varepsilon = \frac{e}{l}$ der Potentialunterschied zweier um die Längeneinheit abstehender Stellen des Leiters. Diese Grösse wird nach Ohm mit dem Ausdrucke Gefälle der Elektricität belegt; sie ist offenbar identisch mit der trigonometrischen Tangente des Neigungswinkels der schiefen Geraden PQ in Fig. 308. Das specifische Leitungsvermögen λ ist, wie wir wissen, der reciproke Werth des specifischen Leitungswiderstandes s, also $\lambda = \frac{1}{s}$. Bezeichnen wir ausserdem den Querschnitt mit q, so werden wir die Stromstärke i in dem Leiter ZK ausdrücken können durch die Formel:

$$i = \varepsilon q \,.\, \lambda = \frac{e}{l} \cdot \frac{q}{s} = \frac{e}{l\,\frac{s}{q}};$$

die Grösse $l\frac{s}{q}$ nennen wir die reducirte Länge oder den Widerstand. Schreiben wir dafür r, so erhalten wir das Ohm'sche Gesetz in seiner einfachsten Form:

$$i = \frac{e}{r}.$$

Der zweite Fall wäre jener, wo der Leiter aus zwei Theilen besteht, für welche der Werth $\frac{q}{s}$ ungleich gross ist und wo an einer der Berührungsstellen dieser zwei Leiter eine elektromotorische Kraft auftritt, welche eine constante Potentialdifferenz hervorruft. An der zweiten Berührungsstelle hingegen soll keine elektromotorische Kraft auftreten. Wir würden diesem Falle nahe kommen, wenn wir die im ersten Falle angenommene Flüssigkeitssäule in zwei Abtheilungen von ungleichen Querschnitten anwenden, oder zwei verschiedene durch eine Membran getrennte Flüssigkeiten von ungleichen specifischen Widerständen einschalten, die gegen einander nicht elektromotorisch wirksam sind.

Bezeichnen wir die Längen der beiden Leiter mit l und l'
„ „ ihre Querschnitte „ q „ q'
„ „ „ specifischen Widerstände „ s „ s'
„ „ die Gefälle in den beiden Leitern „ ε „ ε'

die Stromstärke in beiden Leitern muss dieselbe sein, also muss sein:

$$\varepsilon\,\frac{q}{s} = \varepsilon'\,\frac{q'}{s'}.$$

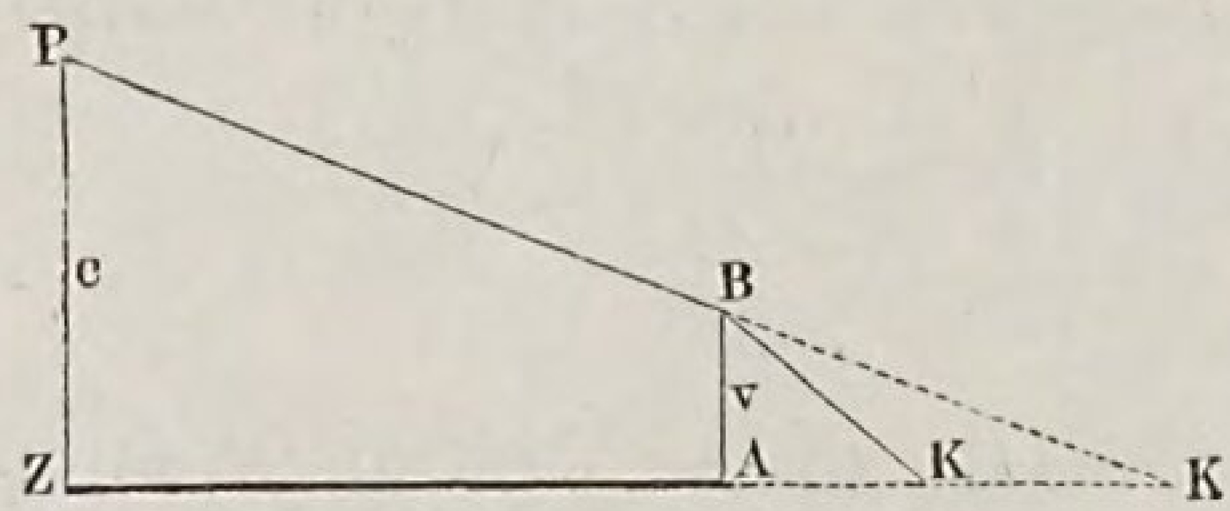
Da nun $\frac{q}{s}$ und $\frac{q'}{s'}$ ungleich sein sollen, so können auch die Gefälle

ε und ε' nicht einander gleich sein. Schreiben wir der Kürze wegen für $\frac{q}{s}$ und $\frac{q'}{s'}$ die Buchstaben a und a', so haben wir also

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon'} = \frac{\frac{q'}{s'}}{\frac{q}{s}} = \frac{a'}{a} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Es stelle nun Fig. 309 die Gerade ZA den ersten Leiter von der Länge l, AK den zweiten Leiter von der Länge l' vor. Das Potentialdiagramm wird dann durch eine gebrochene Linie PBK dargestellt werden. Wenn wir nämlich der Einfachheit halber den Punkt K abgeleitet denken, so wird in Z das Potential $ZP = e$ sein wie im ersten Falle, Fig. 308 III.; in A, wo die beiden Leiter zusammenstossen, wird das Potential eine Grösse $AB = v$ besitzen, welche wir nun berechnen wollen.

Fig. 309.



Wir finden zunächst für die Gefälle:

$$\varepsilon = \frac{e - v}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

$$\varepsilon' = \frac{v}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Aus 1), 2) und 3) folgt

$$v = e \, \frac{l' a}{l a' + l' a}.$$

Nun berechnen wir die Stromstärke in dem Leiter AK, wir erhalten

$$i = \frac{v a'}{l'} = e \cdot \frac{a a'}{l a' + l' a} = \frac{e}{\frac{l}{a} + \frac{l'}{a'}} = \frac{e}{\frac{l s}{q} + \frac{l' s'}{q'}} = \frac{e}{r + r'};$$

$l \frac{s}{q}$ und $\frac{l' s'}{q'}$ sind nämlich die Widerstände der beiden Leiter, die wir mit r und r' bezeichnen wollen. Dieselbe Stromstärke muss natürlich auch im Leiter ZA herrschen, so dass also auch in diesem Falle die Stromstärke gleich ist der elektromotorischen Kraft, dividirt durch den gesammten Widerstand, wie es das Gesetz von Ohm ausspricht.

Um $AB = v$ durch Construction zu finden, gehen wir folgendermaassen vor. Wir denken uns den Leiter AK ersetzt durch einen andern von gleichem Widerstande, der so beschaffen, dass das Verhältniss $\frac{q'}{s'}$ gleich ist $\frac{q}{s}$. Dieser Leiter habe die Länge $AK' = l''$. Da der

Widerstand derselbe bleibt, bleibt auch die Stromstärke dieselbe, da ferner $\frac{q'}{s'} = \frac{q}{s}$ oder $a' = a$, so folgt aus 1) auch $\varepsilon' = \varepsilon$, d. h., das Gefälle, also auch die Neigung der Potentialcurve bleibt dieselbe für die ganze Zeichnung, die Potentialcurve ist also jetzt PK', woraus sich die Höhe von $AB = v$ ergiebt. Damit der Widerstand von AK' gleich dem von AK bleibe, muss

$$l'' \frac{s}{q} = l' \frac{s'}{q'}$$

oder

$$l'' a = l' a',$$

also

$$l'' = l' \frac{a}{a'}$$

gesetzt werden.

Die Grösse l'' ist also die reducirte Länge des Leiters l'.

Durch Einführung der reducirten Länge erhält man demnach den Vortheil, dass die Längen der Leiter proportional ihren Widerständen werden, und dass die Potentialcurve des ganzen Stromkreises aus parallelen Geraden sich zusammensetzt, wodurch die Construction vereinfacht wird. In ähnlicher Weise hätte man zu verfahren, wenn mehrere Leiter in den Schliessungskreis eingeschaltet wären.

Als dritten Fall wollen wir nun jenen betrachten, bei welchem der Stromkreis durch zwei verschiedene Leiter gebildet wird, welche an ihren beiden Berührungsstellen verschieden grosse elektromotorische Kräfte entwickeln. Diese Kräfte können gleich- oder entgegengerichtet sein; wir wollen letzteren Fall annehmen.

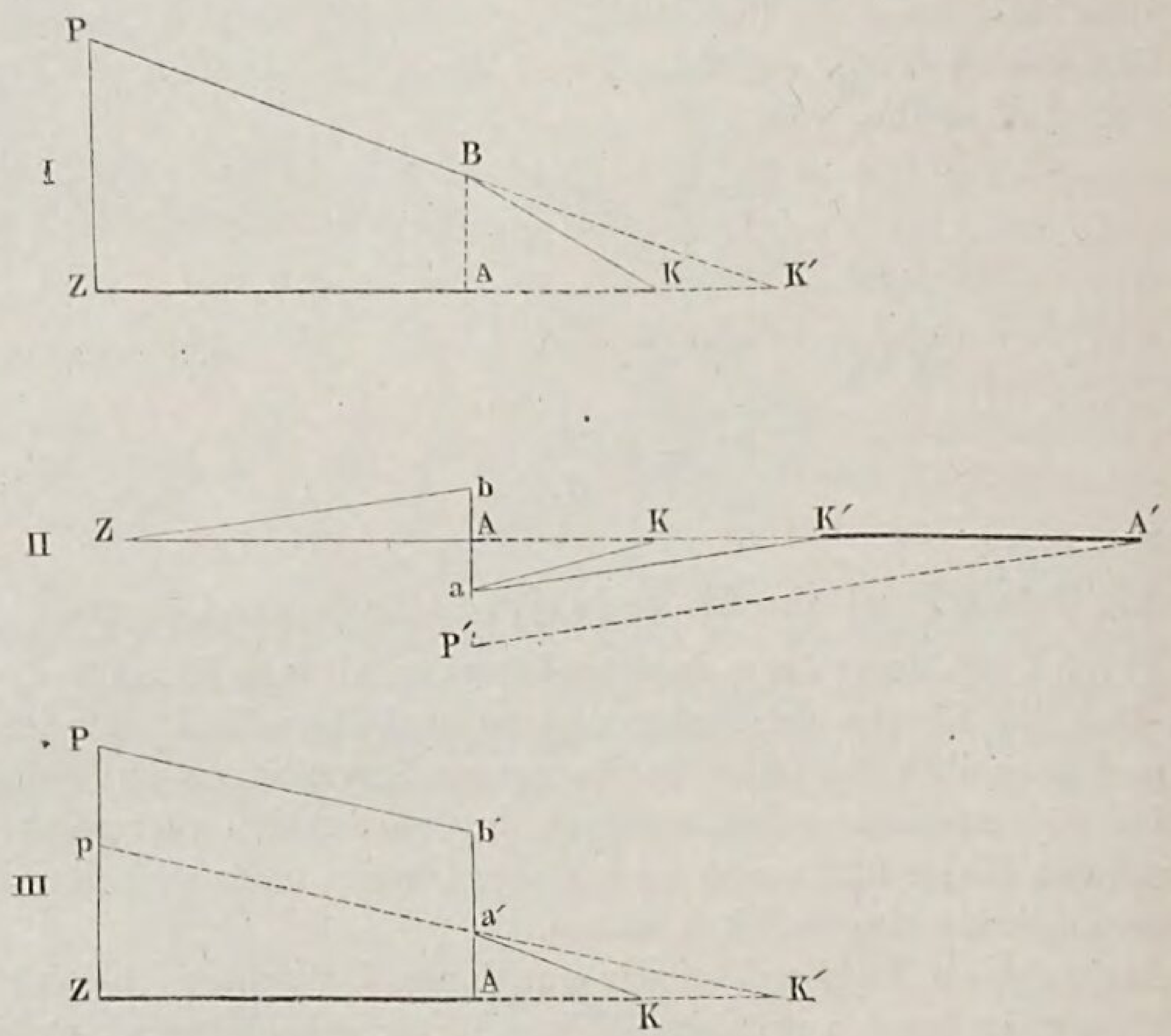
Man erhält das Potentialdiagramm für einen solchen Stromkreis, indem man die Potentialdiagramme, welche durch je eine der beiden elektromotorischen Kräfte zu Stande kämen, für sich construirt und dann die algebraische Summe der Ordinaten bildet. Die so erhaltenen Ordinaten liefern das Potentialdiagramm des ganzen Systems.

Es sei in Fig. 310 I. (a. f. S.) der Leiter ZA mit dem Leiter AK verbunden und sowohl bei Z als bei A sei je eine elektromotorische Kraft vorhanden, welche bei Z die Potentialdifferenz e, bei A die Potentialdifferenz $-e'$ hervorruft.

Wir denken uns zuerst die letztere als nicht vorhanden und zeichnen, wie oben gezeigt wurde, das Potentialdiagramm, indem wir statt AK die reducirte Länge AK' ansetzen und PK', sodann BK ziehen. In Fig. 310 II. denken wir uns die Potentialdifferenz $e = ZP$ nicht vorhanden, tragen dagegen die Potentialdifferenz $-e' = AP'$ in A nach abwärts auf. Wir machen nun $K'A' = ZA$ und ziehen die Gerade $P'A'$. Dieselbe stellt die Potentialcurve vor für den Fall, dass A' abgeleitet wurde. Um nun das Diagramm für den Fall, dass K'

respective K abgeleitet wurde, zu erhalten, ziehen wir durch K' die Parallele $K'a$, machen $ab = P'A$ und ziehen bZ, welche parallel

Fig. 310.



zu $K'a$ sein muss. Es ist dann die gebrochene Gerade $ZbaK'$ die Potentialcurve über dem Stromkreise mit dem reducirten Leiter, dagegen $ZbaK$ die Potentialcurve über dem ursprünglichen Stromkreise.

Jetzt summiren wir in Fig. 310 III. die Ordinaten von I. und II. mit Rücksicht auf ihr Zeichen. Wir construiren also $ZP = e$, dann $Ab' = AB + Ab$, endlich $Aa' = AB - Aa$. In K' respective K ist das Potential, wie früher, gleich Null. Die vollständige Potentialcurve über dem reducirten Stromkreise ist mithin gegeben durch die gebrochene Gerade $Pb'a'K'$, über dem ursprünglichen Stromkreise durch $Pb'a'K$.

Berechnen wir jetzt die Potentialwerthe in A und daraus die Stromstärke J zunächst in dem Leiter AK'.

Aus Figur I. folgt:

$$AB : ZP = AK' : ZK'$$
$$AB : e = l'' : l + l''$$
$$AB = \frac{e l''}{l + l''}$$

Aus Figur II. folgt:

$$Aa : AP' = AK' : AA'$$
$$Aa : e' = l'' : l + l''$$
$$Aa = \frac{e' l''}{l + l''}.$$

Mithin ist das Potential $A\,a'$ in Fig. III.:

$$A\,a' = A\,B - A\,a = (e - e')\,\frac{l''}{l + l''},$$

folglich die Stromstärke im Leiter $A\,K'$ oder $A\,K$

$$J = A\,a' \cdot \frac{a}{l''} = (e - e')\,\frac{a}{l + l''}$$

$$= \frac{e - e'}{\frac{l}{a} + \frac{l''}{a}} = \frac{e - e'}{\frac{l\,s}{q} + \frac{l'\,s'}{q}} = \frac{e - e'}{r + r'}.$$

Dieselbe Stromstärke müssen wir für den Leiter $Z\,A$ erhalten. Wir bekommen zunächst aus Fig. II.

$$A\,b : A\,Z = A\,P' : A\,A'$$

$$A\,b : l = e' : l + l''$$

$$A\,b = \frac{e'\,l}{l + l''},$$

für das Potential $A\,b'$ erhalten wir:

$$A\,b' = A\,B + A\,b = \frac{e\,l''}{l + l''} + \frac{e'\,l}{l + l''} = \frac{e\,l'' + e'\,l}{l + l''},$$

für die Stromstärke in $Z\,A$:

$$J = (Z\,P - A\,b')\,\frac{a}{l} = \left(e - \frac{e\,l'' + e'\,l}{l + l''}\right)\frac{a}{l}$$

$$= (e - e')\,\frac{a}{l + l''} = \frac{e - e'}{r + r'}$$

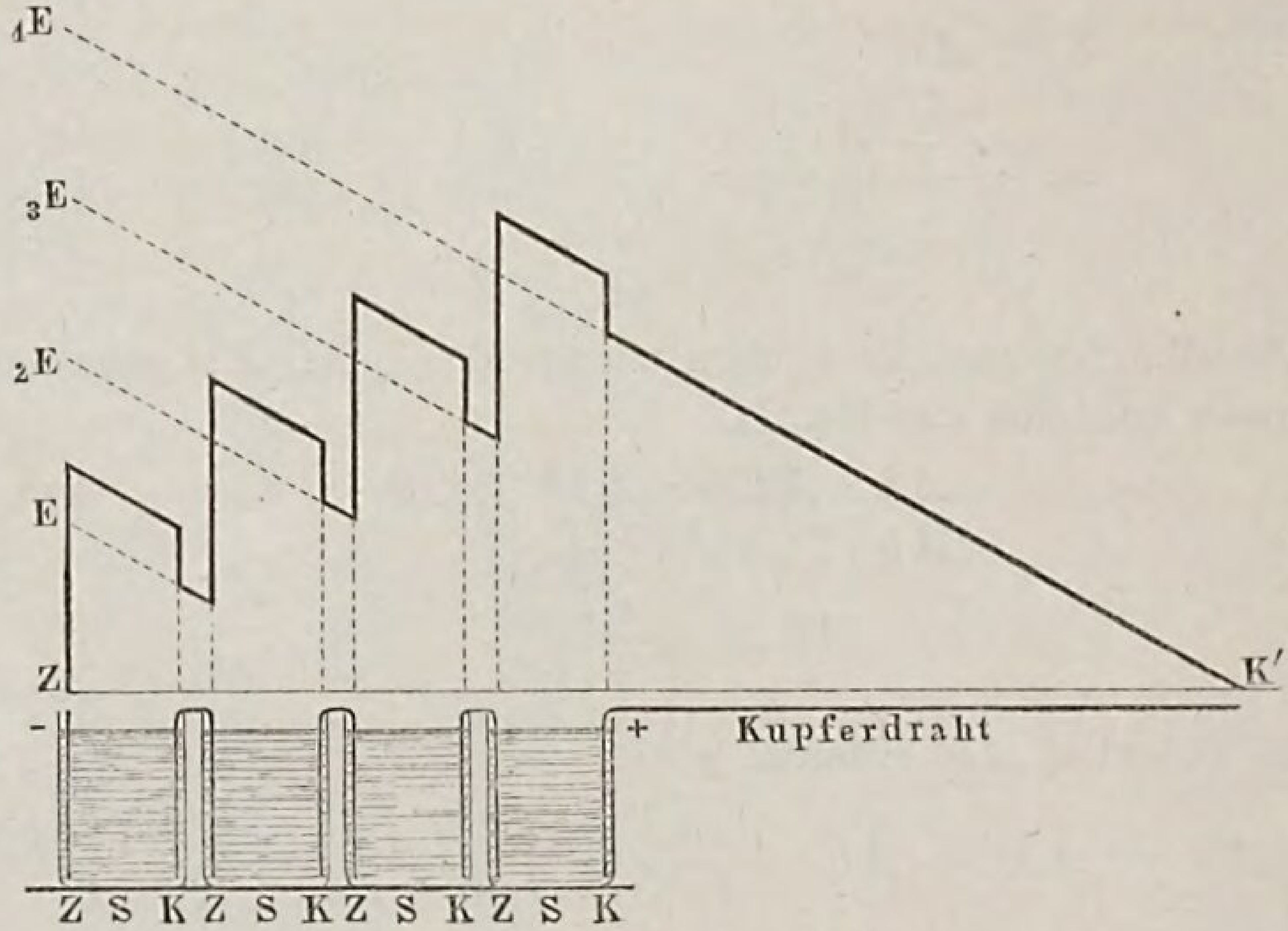
wie oben.

Da e' negativ ist, so ist $e - e'$ die algebraische Summe der elektromotorischen Kräfte und somit gilt auch hier das Ohm'sche Gesetz: Die Stromstärke ist gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte, dividirt durch den Gesammtwiderstand.

Nach dem Vorausgegangenen kann die Construction des Potentialdiagramms in Fig. 310 III. sehr vereinfacht werden. Man ersetzt zunächst die Länge des Leiters $A\,K$ durch die reducirte Länge $A\,K'$ oder legt überhaupt den Abscissenwerthen nicht die Längen, sondern die Widerstände zu Grunde, wodurch die Potentialcurve in allen Theilen parallel gerichtet wird. Dann trägt man in Z die algebraische Summe der sämmtlichen im Stromkreise vorkommenden Potentialdifferenzen auf, in unserm Falle die Ordinate $Z\,p$, und zieht die schiefe Gerade $p\,K'$, sowie parallel damit $P\,b'$. Analog kann man in complicirteren Fällen verfahren. So stellt beispielsweise Fig. 311 (a. f. S.) das Potentialschema einer geschlossenen vierelementigen Kupfer-Zinkbatterie vor. In der Zeichnung ist angenommen, dass die Abscissen den Widerständen proportional seien. Es ist also der Widerstand der Verbindung je zweier Elemente unge-

fähr = $\frac{1}{3}$ des Widerstandes der Flüssigkeit angenommen, während der äussere Schliessungsdraht gleich grossen Widerstand hat, wie die vier Elemente sammt Verbindungen zusammengenommen*).

Fig. 311.



107 **Stromverzweigung, Kirchhoff's Sätze.** Wird der Stromkreis einer galvanischen Säule nicht durch eine einfache Leitung gebildet, sondern ist die Leitung verzweigt, so lassen sich dennoch die Intensitäten des Stromes in jedem einzelnen Stromzweige aus dem Ohm'schen Gesetze ableiten. Es ist dies auch dann noch möglich, wenn die Stromverzweigung nicht eine einfache, sondern eine complicirtere ist, und wenn nicht eine einzige, sondern mehrere Stromquellen in verschiedenen Zweigen vorhanden sind. Dieses Problem ist schon früher von Ohm und Pouillet, später von Poggendorff und W. Weber, zuletzt aber in grösster Allgemeinheit von Kirchhoff gelöst worden.

Wie Kirchhoff gezeigt, lassen sich nämlich alle einschlägigen Probleme mit Hülfe zweier Sätze lösen, welche lauten:

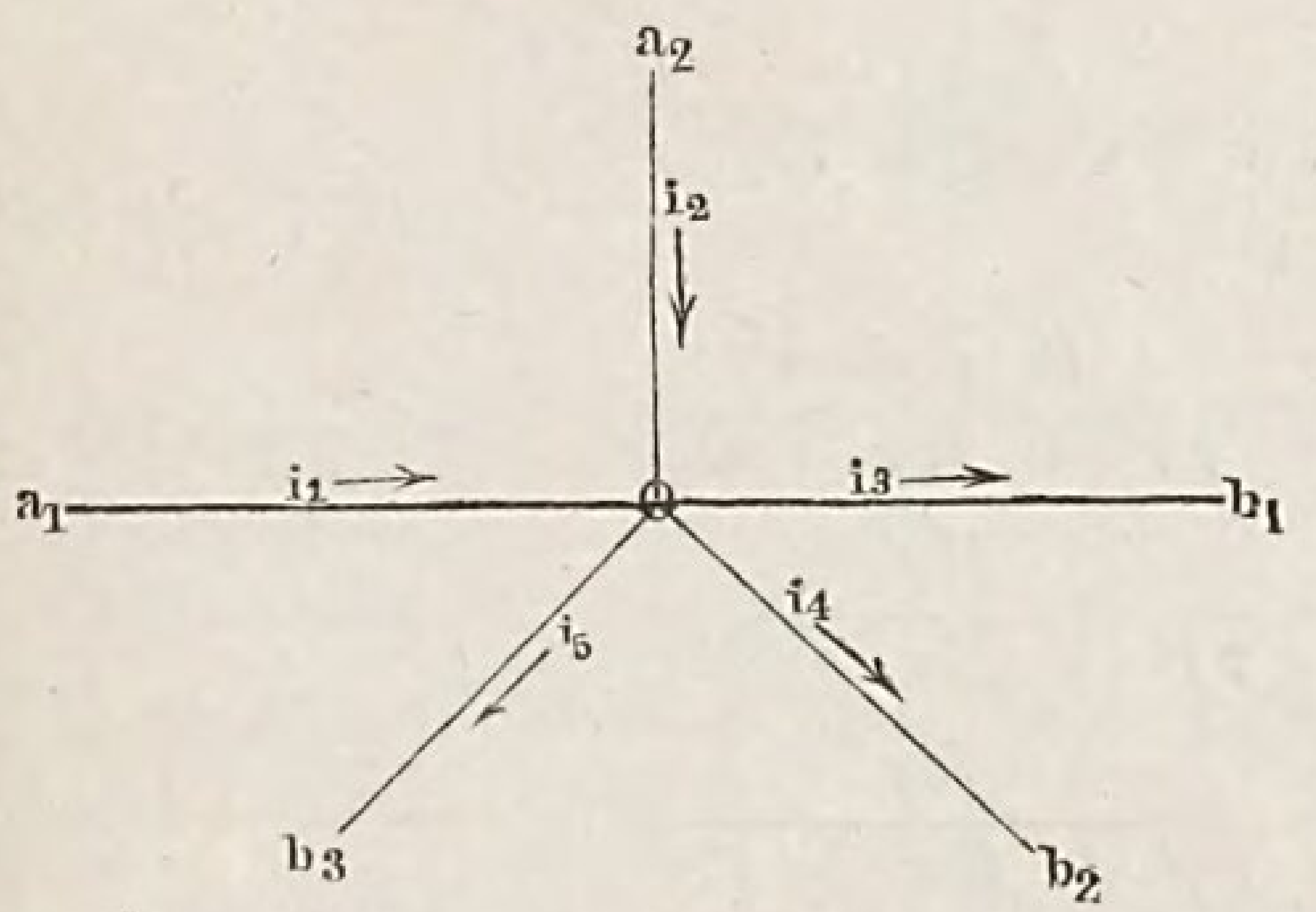
I. An jeder Kreuzungsstelle ist die algebraische Summe der Stromstärken gleich Null, wenn man die gegen den Kreuzungspunkt gerichteten und die von demselben ausgehenden Ströme mit entgegengesetztem Zeichen nimmt.

*) In einer während des Druckes erschienenen Abhandlung von F. Exner: „Zur Theorie des galvanischen Elementes" sind nach neuen Messungen die Potentialschemata der wichtigsten Elemente mitgetheilt. Es entfällt diesen gemäss die Potentialdifferenz an der Benetzungsfläche des negativen Metalls; dagegen kommt bei den Elementen mit zwei Flüssigkeiten die Potentialdifferenz zwischen letzteren hinzu.

II. In jedem geschlossenen Stromkreise, der durch die Verzweigung gebildet wird, ist die Summe der elektromotorischen Kräfte gleich der Summe der Producte aus den Stromstärken mit den Widerständen der einzelnen Strecken.

Der Satz I. ist sofort einleuchtend. Es sei in Fig. 312 der Punkt o ein Durchkreuzungspunkt. Auf den Leitern $a_1 o$, $a_2 o$ seien Ströme mit den Intensitäten i_1, i_2 gegen o gerichtet, auf den Leitern $b_1 o$, $b_2 o$, $b_3 o$ ströme Elektricität mit der Stärke i_3, i_4, i_5 von o ab. Soll es nun nicht zu einer Anhäufung von Elektricität im Punkte o kommen, so muss

Fig. 312.



$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5$$

oder

$$i_1 + i_2 - i_3 - i_4 - i_5 = o$$

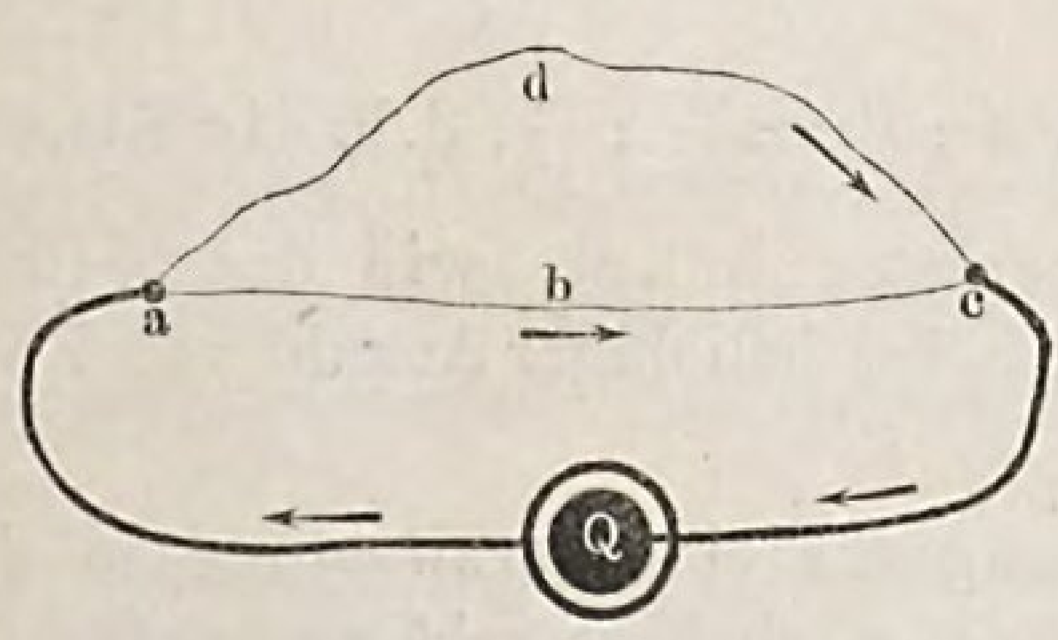
sein.

Der Satz II. ergiebt sich ebenfalls leicht durch Anwendung des Ohm'schen Gesetzes auf die sämmtlichen Stromkreise, welche durch ein System von Verzweigungen entstehen. Dabei müssen aber stets die nach derselben Richtung thätigen elektromotorischen Kräfte und Ströme mit demselben Zeichen belegt werden.

Ein paar Anwendungen werden diese Sätze noch klarer machen.

Erstes Beispiel. Einfache Verzweigung. Es sei Q, Fig. 313, die Stromquelle, welche einen Strom von der Stärke J liefert, der bis zum Punkte a ungetheilt fortströmt. In a aber findet eine Stromtheilung statt. Ein Stromtheil von der Stärke i geht durch den Zweig $a b c$, ein anderer Theil des Stromes von der Stärke i' geht von a über d nach c.

Fig. 313.



Zunächst haben wir nach dem ersten Kirchhoff'schen Satze:

$$J = i + i'$$

oder

$$J - i - i' = o \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Die Summe der Stromstärken in den beiden Zweigen ist also gleich der Stärke des ungetheilten Stromes.

Nach dem zweiten Satze von Kirchhoff haben wir, wenn wir mit R, r, r' die Widerstände der Leitungsstücke $a\,Q\,c$, $a\,b\,c$, $a\,d\,c$ bezeichnen, im Kreise $a\,b\,c\,d$, in welchem keine elektromotorische Kraft vorkommt:

$$i\,r - i'\,r' = o \quad \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

im Kreise $Q\,a\,b\,c\,Q$, in welchem die elektromotorische Kraft der Stromquelle Q, welche wir mit E bezeichnen, vorkommt:

$$J\,R + i\,r = E \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

ebenso im Kreise $Q\,a\,d\,c\,Q$:

$$J\,R + i'\,r' = E \quad \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

Aus 1), 3) und 4) folgt

$$J = \frac{E\,(r + r')}{r\,r' + R\,r + R\,r'} \quad \ldots \ldots \quad 5)$$

$$i = \frac{E\,r'}{r\,r' + R\,r + R\,r'} \quad \ldots \ldots \quad 6)$$

$$i' = \frac{E\,r}{r\,r' + R\,r + R\,r'} \quad \ldots \ldots \quad 7)$$

Bezeichnen wir nun noch mit W den Gesammtwiderstand, welchem der von Q ausgehende Strom begegnet, so folgt für denselben aus 5)

$$W = \frac{E}{J} = \frac{r\,r' + R\,r + R\,r'}{r + r'} = R + \frac{r\,r'}{r + r'}.$$

Somit ist der Widerstand der beiden verzweigten Leiter von a bis c zusammen

$$w = W - R = \frac{r\,r'}{r + r'}.$$

Wäre $r = r'$, so wäre dieser Widerstand $w = \frac{r}{2}$, was wir schon im §. 98 erfahren haben.

Aus 2) folgt $i : i' = r' : r$ oder $i : i' = \frac{1}{r} : \frac{1}{r'}$, d. h. die Stromstärken der Zweige verhalten sich verkehrt, wie die Widerstände derselben, ein Satz, der auch bei beliebiger Anzahl von Zweigen gilt.

Führt man eine analoge Rechnung für eine Verzweigung in drei Zweige durch, deren Widerstände r_1, r_2, r_3 sind, so erhält man für den Widerstand der Zweige zusammen den Ausdruck

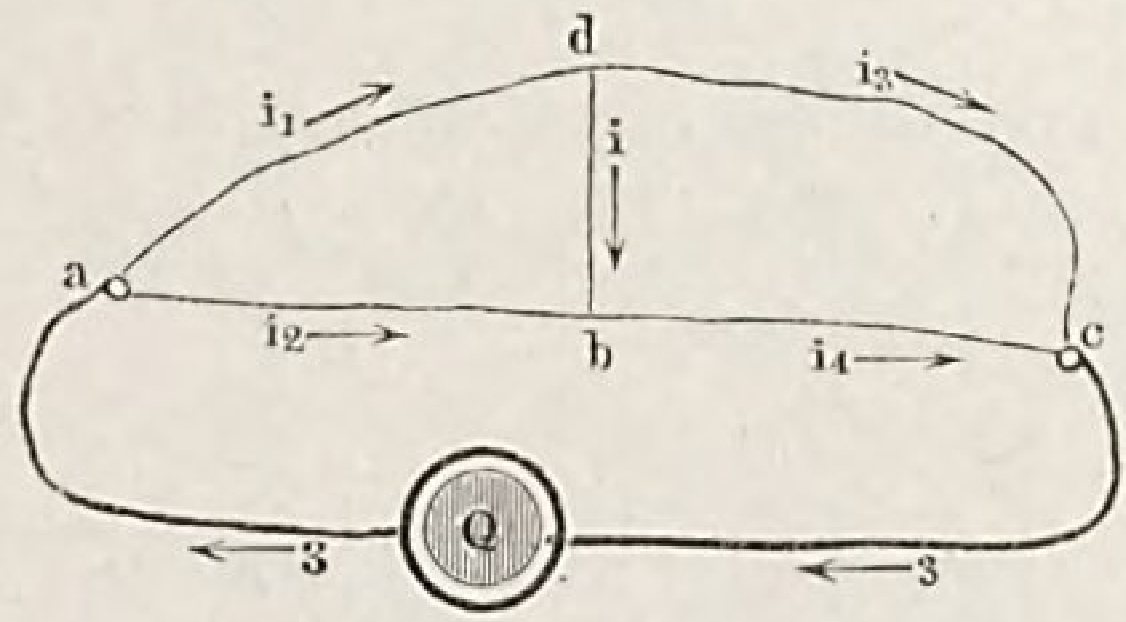
$$w = \frac{r_1\,r_2\,r_3}{r_1\,r_2 + r_2\,r_3 + r_3\,r_1}.$$

Zweites Beispiel. Verzweigung mit Brücke.

Wir bringen in der Verzweigung des vorigen Beispiels eine Quer-

verbindung (Brücke) db an (Fig. 314). Bezeichnen wir nun die Stromstärken und Widerstände in den einzelnen Leitungsstücken wie folgt:

Fig. 314.



Leitungsstück:	aQc	ad	ab	dc	bc	db
Stromstärke:	J	i_1	i_2	i_3	i_4	i
Widerstand:	R	r_1	r_2	r_3	r_4	r.

Nach Kirchhoff's erstem Satze ergiebt sich für die Kreuzungspunkte:

in a und c $\quad J = i_1 + i_2 = i_3 + i_4$

in d und b $\quad i = i_1 - i_3 = i_4 - i_2$.

Nach Kirchhoff's zweitem Satze für die Kreise

$adb \quad ir + i_1 r_1 - i_2 r_2 = o$

$dcb \quad ir + i_4 r_4 - i_3 r_3 = o$

$QadcQ \quad JR + i_1 r_1 + i_3 r_3 = E$

$QabcQ \quad JR + i_2 r_2 + i_4 r_4 = E$

Zur Berechnung der sechs Stromstärken haben wir hier acht Gleichungen, von denen zwei überzählig sind. Nach Ausführung der sämmtlichen Eliminationen, welche keine Schwierigkeiten bieten, erhält man für die Stromstärke i in der Brücke, welche uns hier vornehmlich interessirt, den Ausdruck $i =$

$$\frac{E\,(r_2 r_3 - r_1 r_4)}{Rr(r_1+r_2+r_3+r_4)+R(r_1+r_2)(r_3+r_4)+r(r_1+r_3)(r_2+r_4)+r_1 r_3(r_2+r_4)+r_2 r_4(r_1+r_3)}$$

Offenbar wird also $i = o$, d. h. durch die Brücke geht kein Strom, wenn $r_2 r_3 = r_1 r_4$, oder wenn sich verhält:

$$r_1 : r_2 = r_3 : r_4.$$

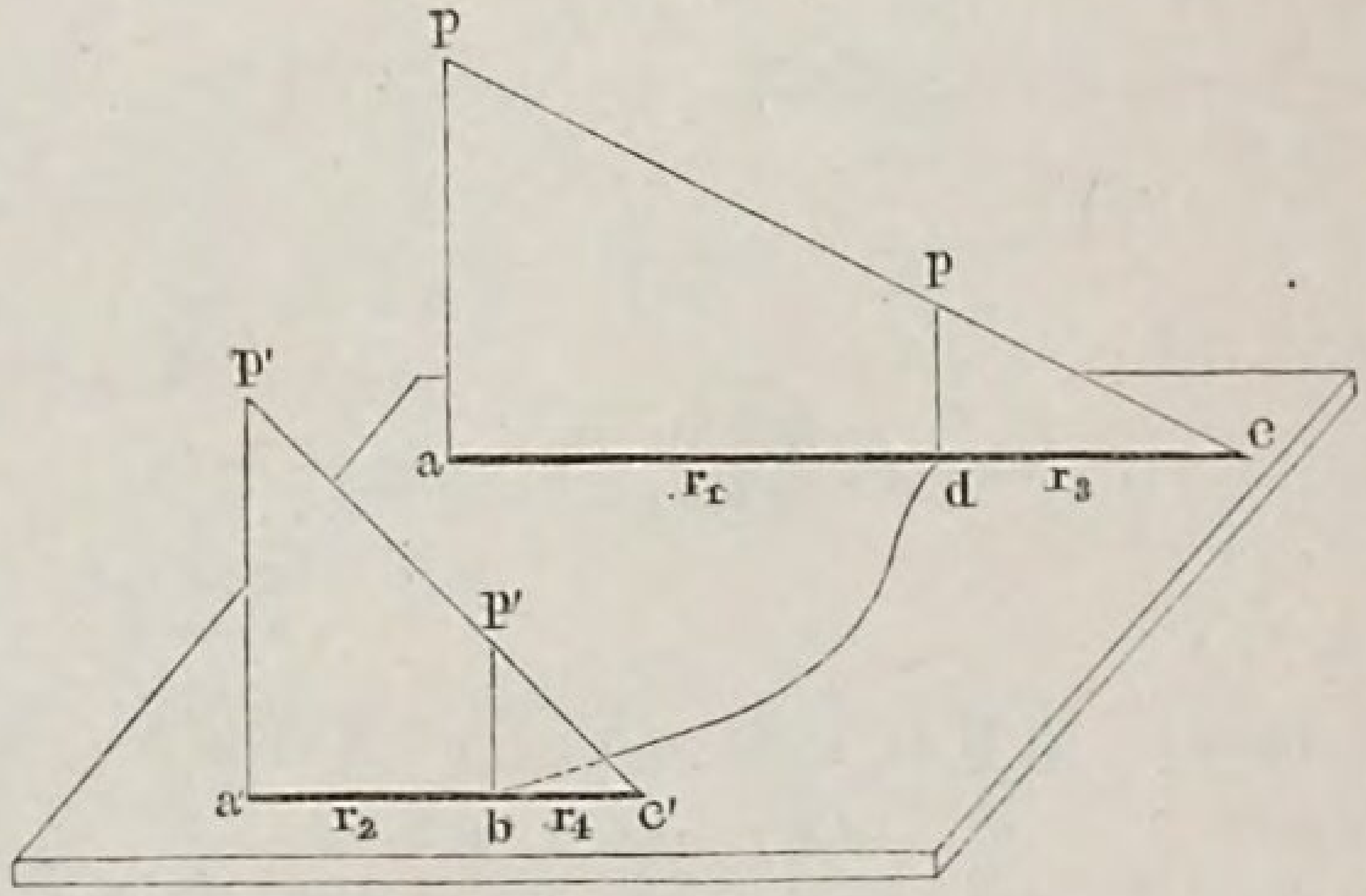
Dieser Satz findet bei der später zu beschreibenden Wheatstone'schen Brückenvorrichtung eine wichtige Anwendung.

Einfacher gelangen wir zu demselben Resultate durch folgende graphische Betrachtung:

In Fig. 315 (a. f. S.) stelle die Abscisse adc die Leitung von a über d nach c der Fig. 314 vor, ebenso die Abscisse $a'bc'$ (Fig. 315) die Leitung von a über b nach c (Fig. 314) und zwar sollen die Längen

der Abscissen die Grössen der Widerstände r_1, r_3, r_2, r_4 darstellen. Drücken wir nun die Potentialdifferenz zwischen den Punkten a und c

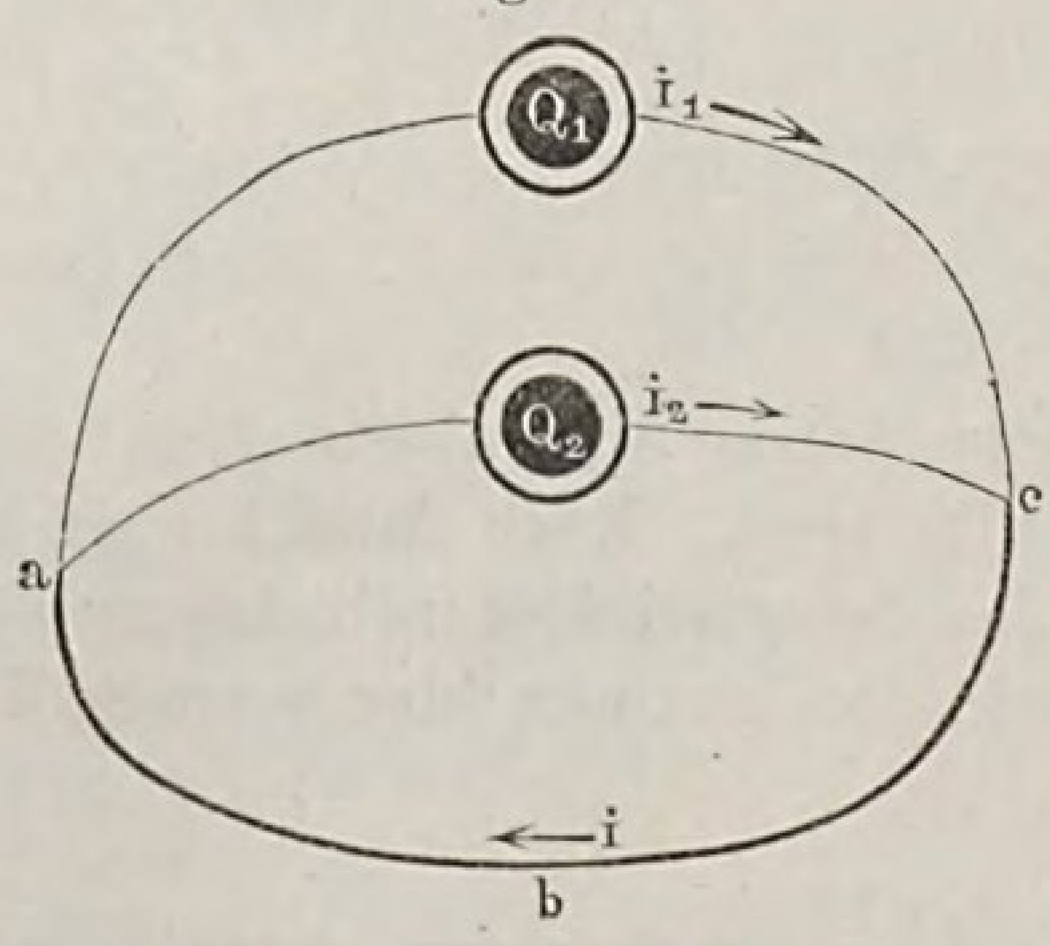
Fig. 315.



durch die Ordinate $aP = a'P'$ aus, indem wir das Potential bei $c = 0$ setzen, so stellt die schiefe Linie Pc den Verlauf der Potentialwerthe längs adc, die schiefe Linie $P'c'$ dasselbe längs abc vor.

Soll nun in der Brücke db kein Strom gehen, so müssen die Potentialwerthe in d und b gleich gross, also die Ordinate $dp =$ der Ordinate bp' sein. Dies ist aber offenbar nur dann der Fall, wenn

Fig. 316.



$$ad : a'b = dc : bc'$$

oder

$$r_1 : r_2 = r_3 : r_4.$$

Drittes Beispiel. Verzweigung mit elektromotorischen Kräften in den Zweigen.

Es seien zwei Stromquellen Q_1 und Q_2 mit den elektromotorischen Kräften E_1 und E_2 in der Weise mit Leitern verbunden, wie dies Fig. 316 andeutet. Die beiden positiven Pole seien mit c in Verbindung, also gleichgerichtet.

Wir haben also:

im Leiter	abc	aQ_1c	aQ_2c
die Stromstärken . . .	i	i_1	i_2
die Widerstände . . .	r	r_1	r_2
die elektromotorischen Kräfte	0	E_1	E_2.

Bei den Widerständen r_1 und r_2 sind die Widerstände der Ketten mitgerechnet.

Nach den Sätzen von Kirchhoff gelten dann die Gleichungen:

$$i - i_1 - i_2 = 0$$
$$i r + i_1 r_1 = E_1$$
$$i r + i_2 r_2 = E_2$$
$$i_1 r_1 - i_2 r_2 = E_1 - E_2.$$

Die letzte dieser Gleichungen ist schon in den vorhergehenden enthalten.

Bei der Auflösung erhält man für die Stromstärken die Werthe

$$i = \frac{E_2 r_1 + E_1 r_2}{r r_1 + r_1 r_2 + r_2 r} \quad \ldots \ldots \ldots 8)$$

$$i_1 = \frac{E_1 (r + r_2) - E_2 r}{r r_1 + r_1 r_2 + r_2 r} \quad \ldots \ldots \ldots 9)$$

$$i_2 = \frac{E_2 (r + r_1) - E_1 r}{r r_1 + r_1 r_2 + r_2 r} \quad \ldots \ldots \ldots 10)$$

Nimmt man an, dass die Elemente Q_1 und Q_2 gleiche elektromotorische Kraft haben, also $E_1 = E_2 = E$, sowie, dass die Widerstände r_1 und r_2 gleich seien, so reducirt sich der Ausdruck für i auf die Form

$$i = \frac{E}{r + \frac{r_1}{2}},$$

wodurch bestätigt wird, was wir an früherer Stelle mitgetheilt haben, dass zwei neben einander eingeschaltete gleiche Elemente ebenso wirken, wie ein solches von gleicher elektromotorischer Kraft, aber von halbem Widerstande.

So lange E_1 und E_2 das gleiche Zeichen haben, d. h. die Pole der Elemente gleich gerichtet sind, kann der Ausdruck 8) für i nie negativ oder Null werden, wohl aber ist dies für die Ströme i_1 und i_2 der Fall und zwar wird z. B. $i_1 = 0$, wenn

$$E_1 (r + r_2) = E_2 r,$$

also wenn

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r}{r + r_2}.$$

Kehrt man eines der Elemente, z. B. Q_2, um, so dass also der negative Pol mit c in Verbindung kommt, so wird E_2 negativ und

$$i = \frac{E_1 r_2 - E_2 r}{r r_1 + r_1 r_2 + r_2 r}.$$

In diesem Falle kann also i, d. i. die Stromstärke, in dem Zweige $a b c$ = Null werden, wenn nämlich

$$E_1 r_2 = E_2 r$$

oder

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r}{r_2}.$$

Von diesen Sätzen hat Poggendorff eine wichtige, später zu erwähnende Anwendung gemacht.

108 **Wheatstone's Brücke.** S. 321 haben wir ein Verfahren flüchtig angedeutet, um einen unbekannten Widerstand zu messen, welches darauf beruht, dass zwei Widerstände einander gleich sind, wenn sie einzeln in denselben Stromkreis eingeschaltet, dieselbe Stromstärke geben. Diese Methode der unmittelbaren Substitution ist die einfachste, aber nicht immer genau genug.

Auf dem im zweiten Beispiele des vorigen Paragraphen abgeleiteten Satze über die Stromverzweigung beruht ein von Wheatstone ersonnenes vorzüglich genaues Verfahren zur Vergleichung zweier Widerstände. Wheatstone's Apparat hatte ursprünglich die in

Fig. 317.

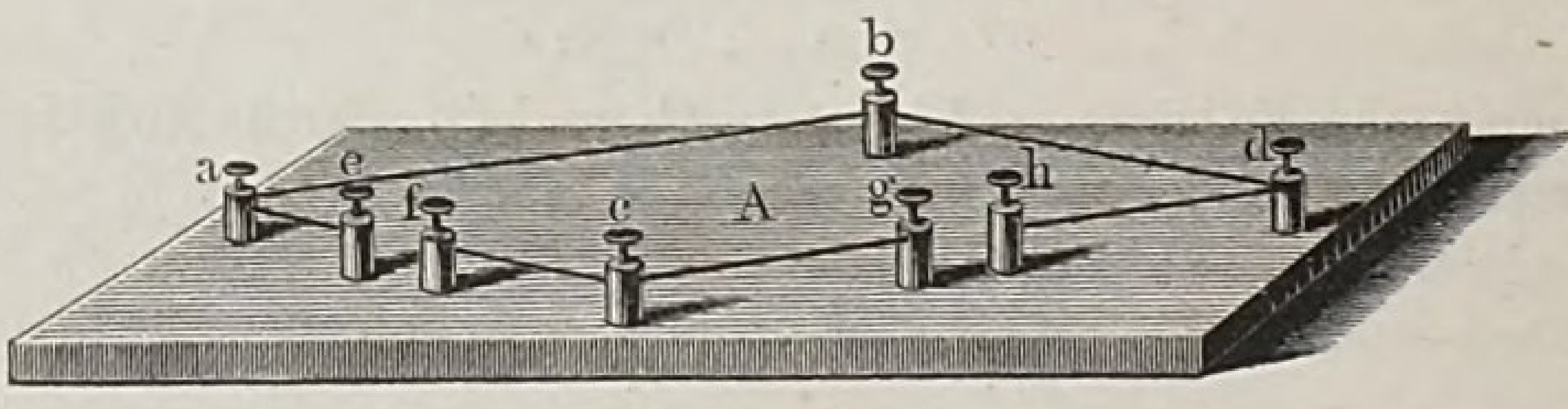
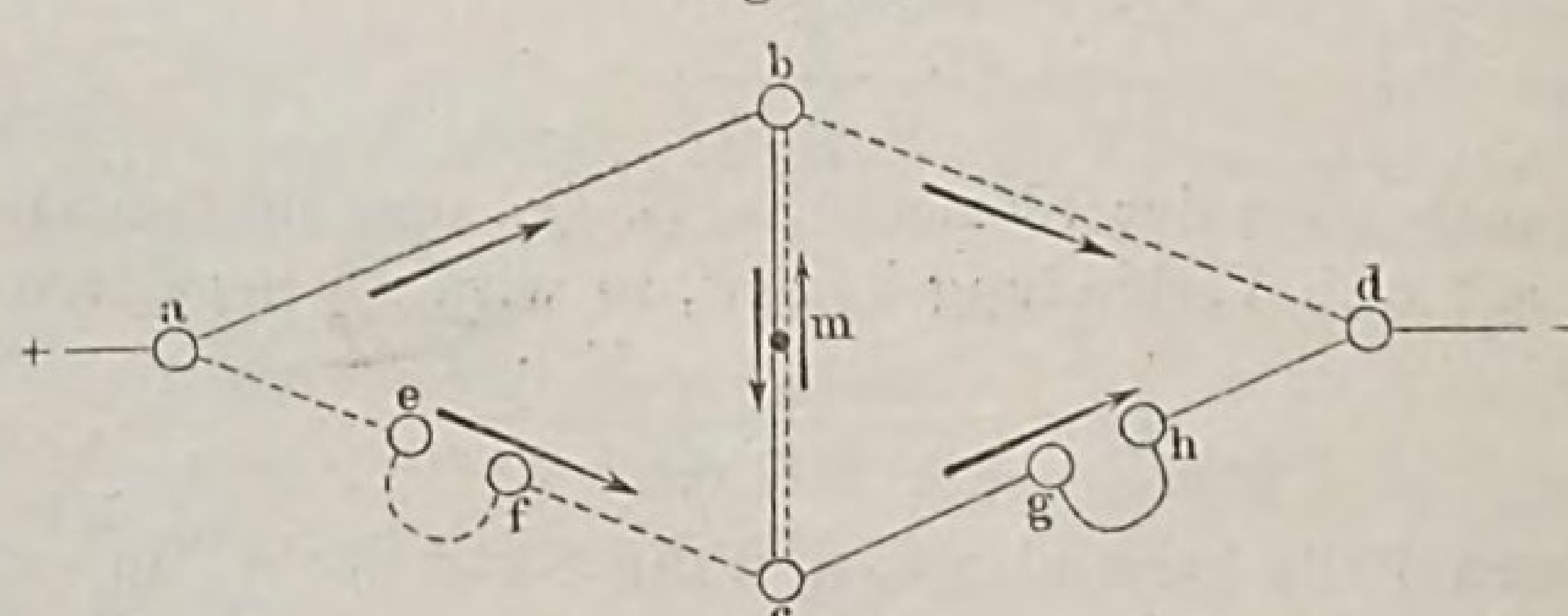


Fig. 317 abgebildete Form. Auf einem etwa 40 cm langen und 25 cm breiten Brette sind, einen Rhombus bildend, die Messingsäulchen *a*, *b*, *c*, *d* befestigt, ferner noch zwischen *a* und *c* die Messingsäulchen *e* und *f*, sowie zwischen *c* und *d* die Säulchen *g* und *h*. Diese Säulchen sind in der aus der Figur ersichtlichen Weise durch Drähte verbunden. Bei *a* und *d* werden die Poldrähte eines Elementes, bei *c* und *b* die Zuleitungsdrähte eines Galvanometers verbunden. Zwischen *e* und *f* einerseits und zwischen *g* und *h* andererseits werden die zu vergleichenden Widerstände eingeschaltet. Fig. 318 zeigt den Grundriss dieses Appa-

Fig. 318.



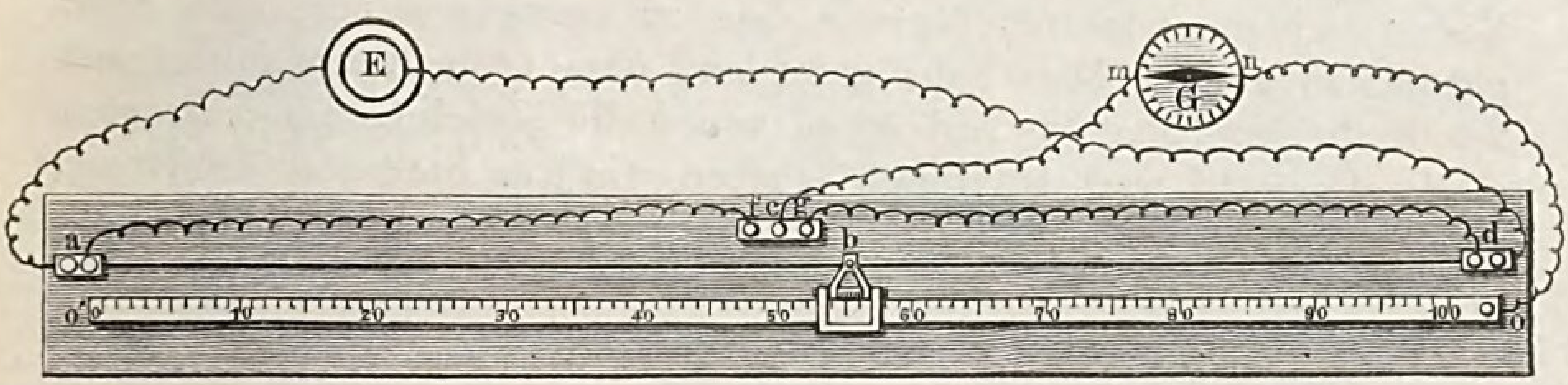
rates. Die Leitung *bc* bildet die Brücke, in derselben herrscht, wie wir im vorigen Paragraphen gezeigt haben, dann die Stromstärke gleich Null, wenn die Widerstände in *ab* und *bd* sich zu einander verhalten wie jene in *aefc* und *cghd*. Sind also die Widerstände der Draht-

vorrichtung links und rechts einander gleich, so herrscht in bc die Stromstärke Null, wenn auch die beiden bei ef und gh eingeschalteten Leiter gleichen Widerstand haben. Ist zwischen b und c ein sehr empfindliches Galvanometer eingeschaltet, so hat der geringste Unterschied im Widerstande der beiden Leiter zur Folge, dass die Galvanometernadel ausschlägt.

Um mit dieser Vorrichtung den Widerstand eines Drahtes in Windungen des Rheostaten ausgedrückt zu erhalten, wird zwischen e und f der Rheostat mit einigen Windungen, zwischen g und h aber ein Drahtstück eingeschaltet, dessen Widerstand nahezu dem des auf der anderen Seite eingeschalteten Theiles des Rheostaten gleich ist und dann Alles so regulirt, dass die Nadel auf 0 zu stehen kommt. Wird nun zwischen g und h ausser dem hier schon vorhandenen Drahtstück noch der Draht A eingeschaltet, dessen Widerstand man ermitteln will, so hat man auf der anderen Seite noch eine Reihe von n Rheostatenwindungen einzuschalten, um die Nadel wieder auf 0 zurückzubringen. Diese Zahl n der noch einzuschaltenden Umgänge des Rheostatendrahtes ist das Maass für den Leitungswiderstand des Drahtes A.

Der Wheatstone'schen Drahtcombination wurde vielfach eine abweichende äussere Form gegeben. Fig. 319 zeigt eine solche von Siemens

Fig. 319.



im Grundriss. Auf einem langen hölzernen Brette ist zwischen isolirten Klemmen der Platindraht ab ausgespannt. Parallel mit demselben befindet sich ein mit Längentheilung versehener Metallstreifen $o'o$, längs welchem ein Schlitten mit Nonius leitend verschiebbar ist. Dieser Schlitten trägt einen auf und nieder kippbaren Fortsatz, welcher sich mit einer metallenen Schneide auf den Platindraht niedersenken lässt, so dass hierdurch eine leitende Verbindung zwischen dem Metallstreifen $o'o$ und einem Punkte b des Platindrahtes hergestellt wird. Rückwärts befindet sich ein Metallstück mit drei Klemmschrauben f, c und g, die unter sich leitend in Verbindung stehen. Zwischen a und f einerseits und zwischen g und d andererseits werden die zu vergleichenden Widerstände eingeschaltet. Ausserdem werden a und d mit den Polen des Elements E, c und o (oder o') mit dem Galvanometer G verbunden. Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie im Schema Fig. 318; die Brücke wird daher durch die Leitung $cmnob$ gebildet. Die Länge der

Stücke ab und bd ist veränderlich und kann an dem Maassstabe abgelesen werden.

Hat man den Schlitten so gestellt, dass durch G kein Strom geht, so verhält sich Widerstand ac zu Widerstand cd wie die Länge des Platindrahtes links von b zu jener rechts von b. Man kann also nach dieser Methode nicht allein zwei gleiche Widerstände vergleichen, sondern auch das Verhältniss zweier ungleicher Widerstände ermitteln. Damit aber hierbei nicht durch ungleiche Erwärmung der Drahtstücke der Widerstand derselben ungleich beeinflusst werde, wird nur ein schwacher Strom und deshalb ein empfindliches Galvanometer angewandt und ausserdem der Contact bei b nur auf Augenblicke hergestellt. Schaltet man zwischen a und c einen Etalon, allenfalls einen Siemens'schen Stöpselrheostaten ein, so erhält man den Widerstand zwischen c und d in den gebräuchlichen Einheiten ausgedrückt.

Es sei beispielsweise zwischen a und f ein Siemens'scher Stöpselrheostat in der Weise eingeschaltet, dass der Widerstand der Zuleitungen wegen ihres grossen Querschnittes gleich Null zu setzen ist; zwischen g und d sei ein Drahtstück von unbekanntem Widerstande x eingeklemmt. Wir schieben den Schlitten zuerst auf die Mitte (Theilstrich 50) und nehmen probeweise so viele Stöpsel heraus, das heisst, schalten so viele Rheostatwiderstände ein, bis wir dem zu messenden möglichst nahe gekommen sind. Man habe gefunden, dass nach Einschaltung von 2·5 Einheiten beim Niederdrücken von b die Nadel G am wenigsten stark abgelenkt werde. Hierauf suchen wir jene Stelle des Schlittens, wo die Nadel ganz ruhig bleibt. Dieselbe sei beispielsweise bei 51·5 gelegen, so gilt die Proportion:

$$2{\cdot}5 : x = 51{\cdot}5 : (100 - 51{\cdot}5),$$

woraus

$$x = 2{\cdot}354$$

folgt.

Sowohl in der Form des angewendeten Apparates als auch im Verfahren selbst sind mehrfache Abänderungen vorgenommen worden, bezüglich welcher wir auf Specialwerke verweisen müssen.

109 **Leitungswiderstand der Flüssigkeiten.** Wollte man versuchen, den Leitungswiderstand einer Flüssigkeitssäule in der Weise durch einfache Substitution zu bestimmen, indem man die Flüssigkeitssäule in einen Stromkreis mit Galvanometer einschaltet und dafür so viel bekannten Widerstand ausschaltet, bis der Strom die ursprüngliche Stärke hat, so würde man nicht zu einem richtigen Resultate gelangen. Durch die früher schon erwähnte sogenannte Polarisation wird nämlich eine entgegengerichtete elektromotorische Kraft hervorgebracht, welche die Stromstärke verringert, so dass also der Widerstand grösser gefunden würde als er wirklich ist. Man umgeht diese Fehlerquelle, indem

man die Flüssigkeitssäule von vornherein in den Kreis einschaltet und dann nur die Distanz der Metallplatten ändert, welche den Strom ab- und zuführen. Die Anzahl Widerstandseinheiten, die an dem gleichzeitig eingeschalteten Rheostaten aus- oder eingeschaltet werden müssen, um die Verlängerung oder Verkürzung der Flüssigkeitssäule zu compensiren, giebt dann den Widerstand der ein- oder ausgeschalteten Flüssigkeit.

Auf diesem Princip beruhen auch die Methoden, welche Becquerel, Horsford u. A. anwandten, um den Leitungswiderstand von Flüssigkeiten zu bestimmen.

Becquerel bediente sich des Apparates Fig. 320, bei welchem die Polplatten *a* und *b* vertical über einander stehen und welcher wohl aus der Figur hinlänglich verständlich sein wird. Für den Fall, dass man mit Lösungen von Metallsalzen zu thun hat, aus welchen sich das Metall an der negativen Polplatte niederschlägt, bestehen die Polplatten aus demselben Metall, welches in der Lösung enthalten ist; für Flüssigkeiten aber, aus welchen sich Gase ausscheiden, besteht die untere Polplatte *b*, welche den positiven Pol bilden muss, aus einem Metall, welches durch den hier ausgeschiedenen Sauerstoff oxydirt wird, die obere aber, an welcher sich das Wasserstoffgas ausscheidet, aus Platin. Diese Platinplatte *a* muss dann schräg gestellt sein, damit die Gasblasen leichter entweichen können.

Fig. 320.

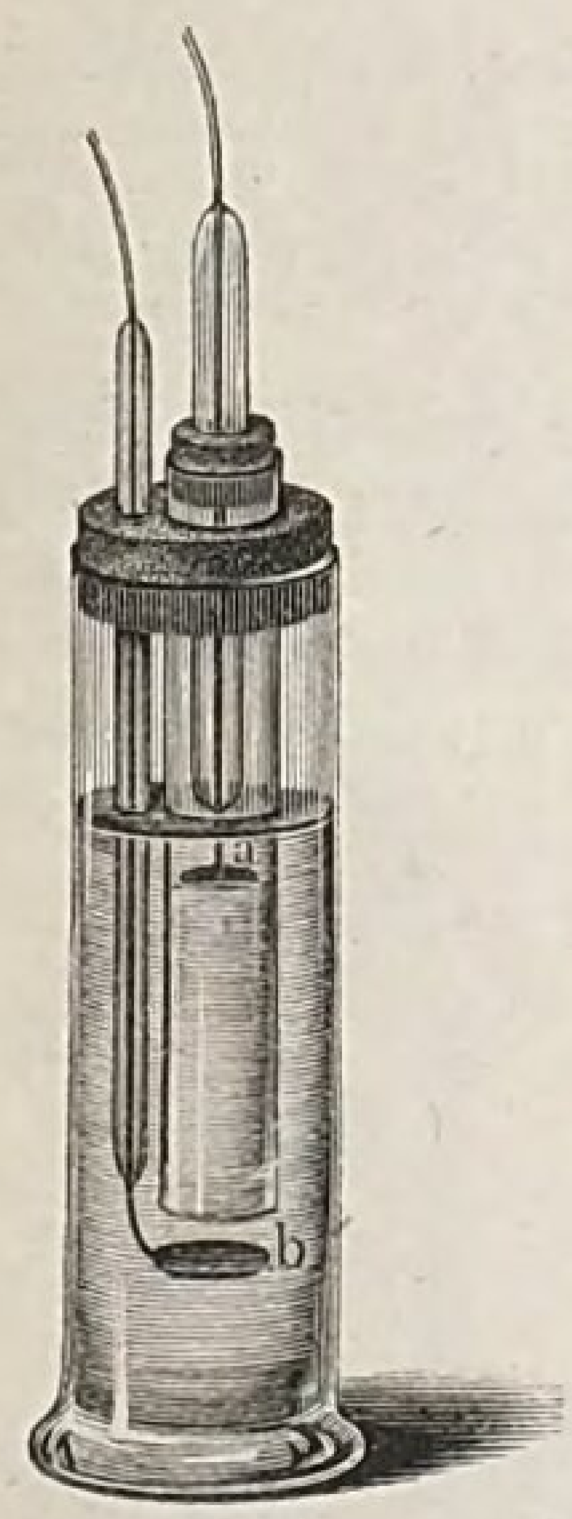
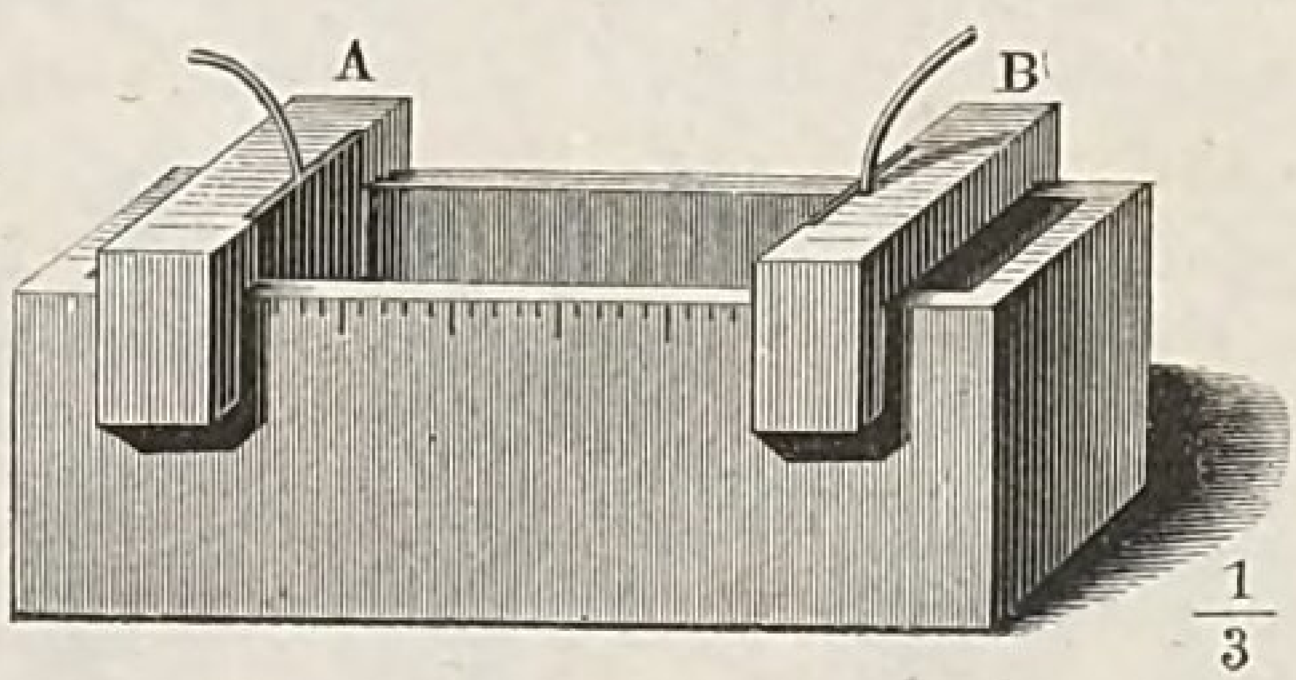


Fig. 321.



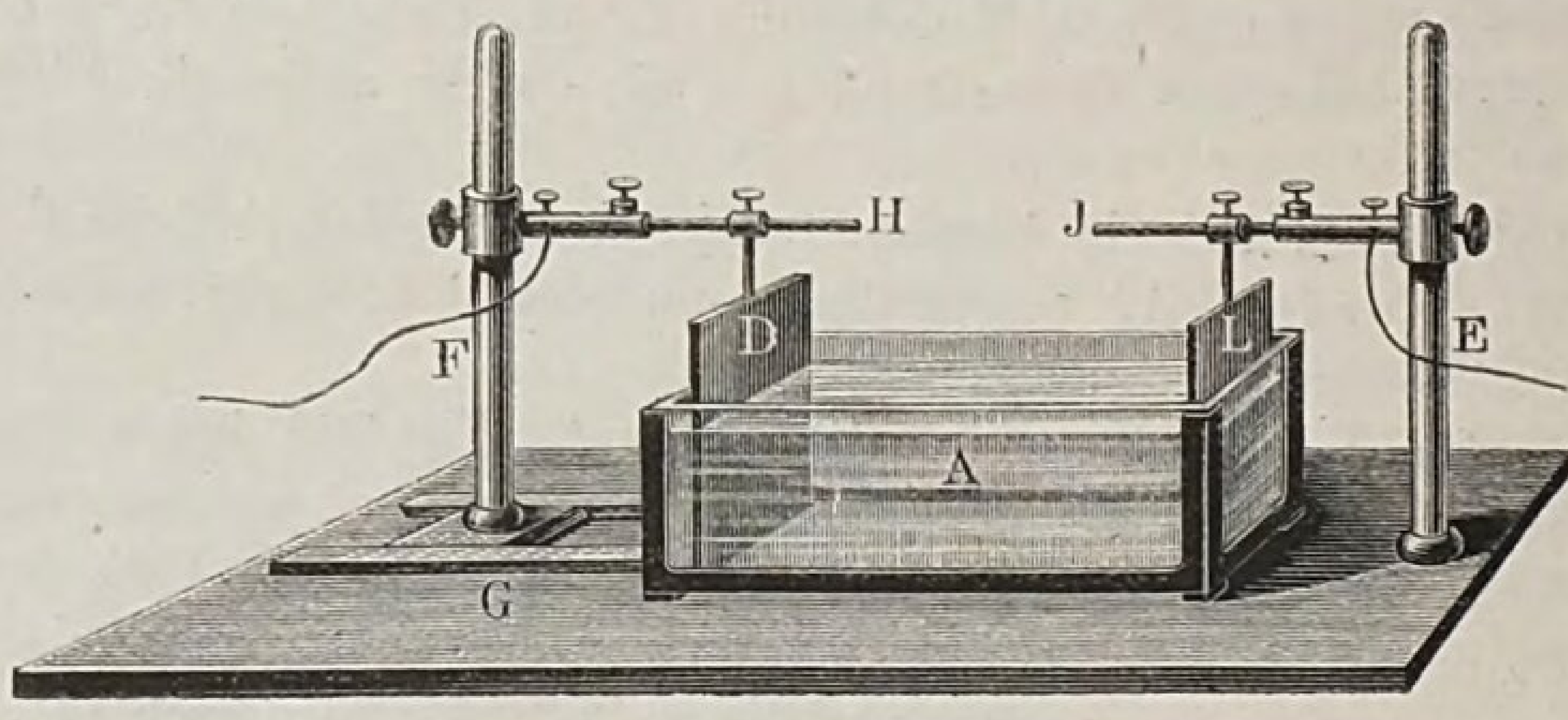
Horsford bediente sich statt der Vorrichtung Fig. 320 des Apparates Fig. 321. In einem wohl gefirnissten Trog von trockenem Holze, welcher die Flüssigkeit aufnimmt, sind zwei Platinplatten eingetaucht, welche fast den ganzen Querschnitt des Troges ausfüllen.

Fig. 322 (a. f. S.) zeigt einen aus Glasplatten zusammengesetzten Trog, dessen man sich statt des Horsford'schen Holztroges bedienen kann.

F. Kohlrausch hat, um seltenere und kostbarere Stoffe in geringen Mengen untersuchen zu können, den Gefässen zur Widerstandsbestimmung die in den Figuren 323, 324 und 325 (a. f. S.) in $\frac{1}{3}$ Grösse abgebildeten Gestalten gegeben.

Fig. 323 besteht aus zwei Bechern, die sich unten trichterförmig verjüngen und durch ein gebogenes Rohr von 3 bis 9 mm verbunden

Fig. 322.



sind. Auf dem Rande des Trichters stehen platinirte Platinelektroden von kugelschaliger Gestalt; in der Mitte haben dieselben eine kleine Durchbohrung zum Entweichen der Luft. Die Stiele gehen durch Deckel von Hartgummi.

Der Apparat Fig. 324 gehört zur Untersuchung flüchtiger Flüssigkeiten und kann auch bei höherer Temperatur angewendet werden. Die

Fig. 323.

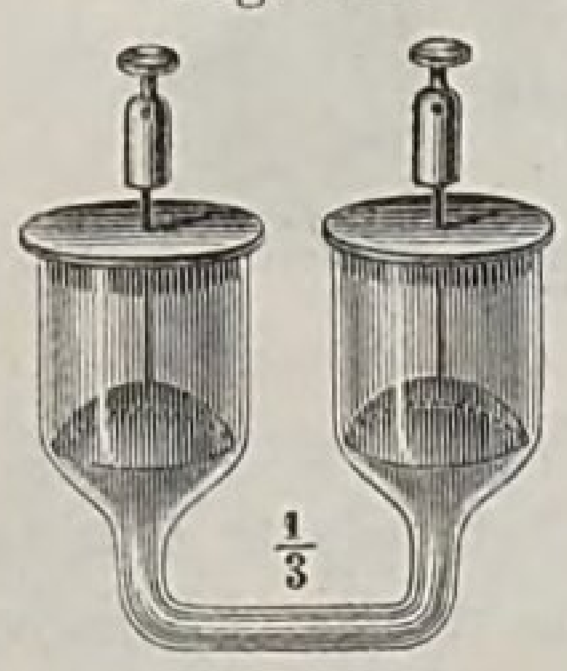


Fig. 324.

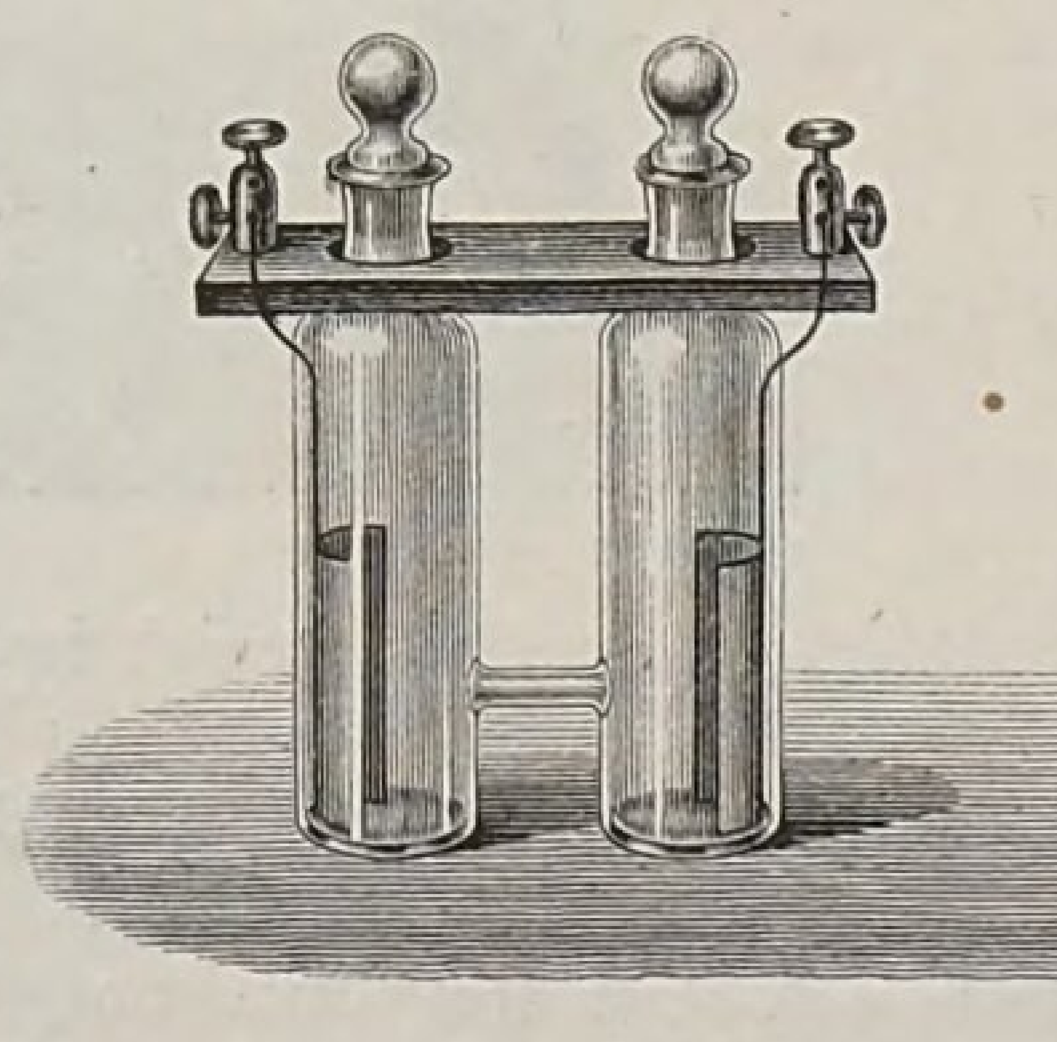
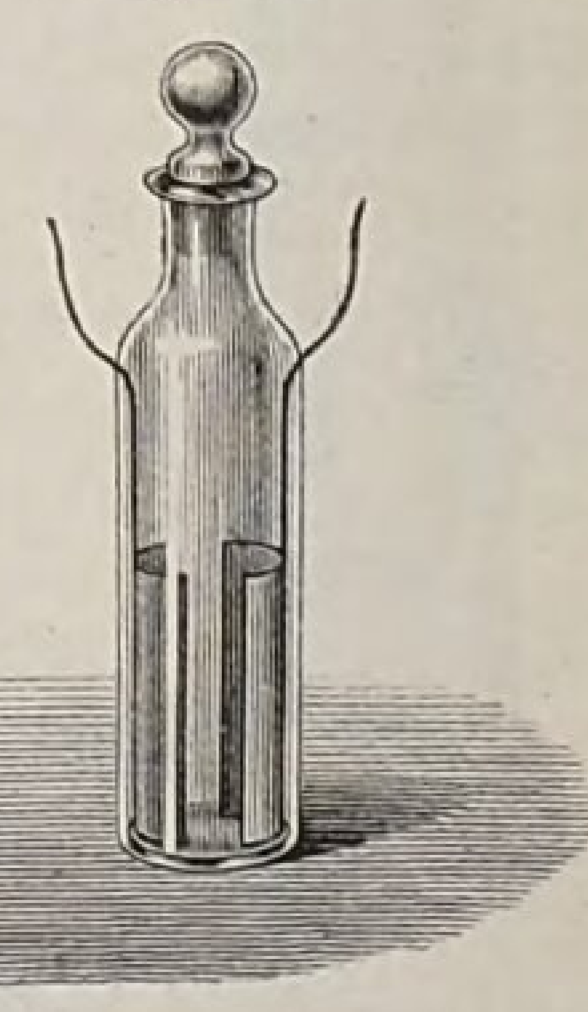


Fig. 325.



Platindrähte sind in das Glas eingeschmolzen. Die Zuleitungsklemmen sind auf einem Stück Hartgummi befestigt.

Die Form Fig. 325 endlich ist für sehr schlecht leitende Flüssigkeiten bestimmt. Die Elektroden bedecken jede ein Drittel der Wandung und sind zur Befestigung an das Glas angeschmolzen.

Diese (von Günther Heym in Stützerbach angefertigten) Gefässe benöthigen nur 12 bis 25 cbcm Flüssigkeit. Vor ihrem Gebrauche muss ihre Widerstandscapacität, d. h. der Widerstand des Quecksilbers

von 0^0, welches dieselben zwischen den Elektroden füllt, bestimmt werden. Man bewerkstelligt dies aber nicht direct mit Quecksilber, dessen Widerstand zu klein wäre, sondern mit einer der weiter unten angegebenen Flüssigkeiten von genau bekanntem Leitungsvermögen.

v. Beetz wandte ein eigenthümliches Verfahren an, um den Einfluss der Polarisation zu eliminiren. Er sendete durch die Flüssigkeit nicht einen constanten, sondern einen rasch intermittirenden Strom, welcher überdies wechselweise entgegengesetzt gerichtet war. Ein solcher Wechselstrom wird durch einen später zu besprechenden Inductionsapparat erhalten. In Folge des fortwährenden Polwechsels wird jede Polarisation durch die darauf folgende entgegengesetzte aufgehoben. Die Messung der Stromstärke ist in diesem Falle nicht mittelst eines gewöhnlichen Galvanometers möglich, wohl aber mittelst des später zu beschreibenden Elektrodynamometers von Weber. Näheres hierüber in Pogg. Ann. CXVII. F. Kohlrausch, der sich derselben Methode bediente, verwendete als Elektroden ebene Spiralen von Platindraht.

Die früheren Bestimmungen des Leitungswiderstandes von Becquerel, Horsford, Schmidt, Becker und G. Wiedemann sind wohl durch die neuen umfangreichen und sorgfältigen Messungen des Leitungsvermögens von F. Kohlrausch, Grotian und Tollinger (Pogg. Ann. CLIV, S. 215, CLIX, S. 233; Wiedem. Ann. VI, S. 1) überholt worden. Da wir nicht den Raum erübrigen, um diese Bestimmungen ausführlich mitzutheilen, so wollen wir wenigstens zwei von F. Kohlrausch berechnete Tabellen für praktischen Gebrauch aufführen, welche die wichtigsten Resultate enthalten.

Die Tabelle I. S. 344 bezieht sich auf verdünnte Lösungen bei einer Temperatur von 18^0 C. Für dieselben lässt sich das Leitungsvermögen durch empirische Gleichungen von der Form:

$$k = xp - x'p^2 \qquad \text{1)}$$

darstellen, worin p den Procentgehalt der Lösung an der gelösten Substanz, x und x' zwei Constante bedeuten. Für sehr verdünnte Lösungen verschwindet das Glied $x'p^2$ und wird demnach $x = \frac{k}{p}$. Die Constante x bedeutet also in diesem Falle das Verhältniss des Leitungsvermögens zu dem Gehalte, welche Grösse Kohlrausch das specifische Leitungsvermögen der gelösten Substanz nennt.

Ein Beispiel mag den Gebrauch der Tabelle I. erläutern. Man findet aus der ersten Zeile, dass für Salzsäure $x = 0{\cdot}00000887$, $x' = 0{\cdot}000000297$. Mithin wäre z. B. das Leitungsvermögen einer 5 procentigen Salzsäure

$$k = 0{\cdot}00000887 \,.\, 5 - 0{\cdot}000000297 \,.\, 25 = 0{\cdot}000036925,$$

daraus ergiebt sich der Leitungswiderstand:

$$\frac{1}{k} = 27074,$$

Tabelle I.

Gelöste Substanz	Chemische Formel derselben	x	x'
Salzsäure	HCl	0·00000887	0·000000297
Aetzlithion	$LiOH$	„ 611	„ 327
Salpetersäure	HNO_3	„ 534	„ 101
Aetznatron	$NaOH$	„ 445	„ 153
Schwefelsäure	H_2SO_4	„ 415	„ 048
Bromwasserstoff	HBr	„ 383	„ 050
Aetzkali	KOH	„ 350	„ 055
Jodwasserstoff	HJ	„ 250	„ —
Aetzbaryt	BaO_2H_2	„ 196	„ 066
Salmiak	NH_4Cl	„ 177	„ 011
Lithiumcarbonat	Li_2CO_3	„ 175	„ 708
Oxalsäure	$H_2C_2O_4$	„ 167	„ 089
Saures Kaliumsulphat	$KHSO_4$	„ 165	„ 021
Cyankalium	KCN	„ 156	„ 012
Chlorlithium	$LiCl$	„ 160	„ 046
Chlormagnesium	$MgCl_2$	„ 150	„ 045
Chlornatrium	$NaCl$	„ 138	„ 025
Chlorcalcium	$CaCl_2$	„ 134	„ 027
Chlorkalium	KCl	„ 131	„ 004
Fluorkalium	KF	„ 131	„ 018
Ammoniumnitrat	NH_4NO_3	„ 116	„ 012
Ammoniumsulphat	$(NH_4)_2SO_4$	„ 112	„ 017
Kaliumcarbonat	K_2CO_3	„ 113	„ 016
Natriumcarbonat	Na_2CO_4	„ 103	„ 037
Chlorstrontium	$SrCl_2$	„ 098	„ 015
Kaliumoxalat	$K_2C_2O_5$	„ 097	„ 011
Lithiumsulphat	Li_2SO_4	„ 093	„ 036
Magnesiumnitrat	MgN_2O_6	„ 092	„ 020
Kalisalpeter	KNO_3	„ 092	„ 013
Kaliumsulphat	K_2SO_4	„ 091	„ 010
Natronsalpeter	$NaNO_3$	„ 090	„ 017
Glaubersalz	Na_2SO_4	„ 089	„ 024
Bromkalium	KBr	„ 087	„ 005
Calciumnitrat	CaN_2O_6	„ 087	„ 021
Chlorbaryum	$BaCl_2$	„ 077	„ 008
Saures Kaliumcarbonat	$KHCO_3$	„ 075	„ 010
Kaliumacetat	$KC_2H_3O_2$	„ 071	„ 013
Jodammonium	NH_4J	„ 070	„ — 003
Kaliumchlorat	$KClO_3$	„ 069	„ —
Natriumacetat	$NaC_2H_3O_2$	„ 067	„ 023
Phosphorsäure	H_3PO_4	„ 064	„ 011
Jodkalium	KJ	„ 063	„ — 001
Bittersalz	$MgSO_4$	„ 060	„ 021
Jodnatrium	NaJ	„ 057	„ 003
Jodlithium	LiJ	„ 057	„ 003
Baryumnitrat	BaN_2O_6	„ 054	„ 017
Saures Kaliumphosphat	KH_2PO_4	„ 052	„ 014
Silbersalpeter	$AgNO_3$	„ 051	„ 007
Alaun	$KAlS_2O_8$	„ 047	„ —
Zinkvitriol	$ZnSO_4$	„ 042	„ 012
Kupfervitriol	$CuSO_4$	„ 041	„ 011

Tabelle II.

Gelöste Substanz	Procentgehalt der Lösung	Spec. Gewicht	Leitungsvermögen bei 18° C. im Verhältniss zum Quecksilber
HNO_3	29·7	1·185	0·00007330 *m*
HCl	18·3	1·092	„ 7174 *m*
HBr	36	1·31	„ 717 *m*
H_2SO_4	30·4	1·224	„ 6914 *m*
HF	—	—	„ 61 *m*?
KOH	28·1	1·274	„ 5095 *m*
NH_4J	>50	—	>„ 4000
KJ	58·5	1·70	„ 410
NH_4Cl	27	1·078	„ 398
KB_2	38·5	1·347	„ 348
$KHSO_4$	31	1·24	„ 344
NH_4NO_3	5·5	1·25	„ 343 *m*
$NaOH$	15·2	1·172	„ 3276 *m*?
KCl	25·8	1·175	„ 321
$LiOH$	11	1·12	„ 30
NaJ	64	2·0	„ 27
KF	33·7	1·308	„ 2427 *m*
$(NH_4)_2SO_4$	43	1·25	„ 2350 *m*
K_2CO_3	34·3	1·350	„ 2117 *m*?
$AgNO_3$	68	2·18	„ 210
$NaCl$	26·4	1·201	„ 2016
H_3PO_4	46·8	1·307	„ 1962 *m*
$SrCl_2$	34·4	1·38	„ 177
$K_2C_2O_4$	22·8	1·17	„ 170
$CaCl_2$	24·0	1·220	„ 1669 *m*
$NaNO_3$	40	1·32	„ 160 *m*
KNO_3	22·5	1·151	„ 1550 *m*
$LiCl$	21·2	1·122	„ 1533
LiJ	62	1·83	„ 15 *m*?
$BaCl_2$	26·1	1·284	„ 149
$MgCl_2$	19·4	1·170	„ 1312 *m*
$KC_2H_3O_2$	35·6	1·178	„ 1203 *m*
MgN_2O_6	28	1·25	„ 120 *m*
CuN_2O_6	—	—	„ 11 *m*
$KHCO_3$	20·8	1·15	„ 11
CaN_2O_6	26·7	1·238	„ 0983 *m*
$CaCl_2$	—	—	„ 09
Na_2SO_4	16·8	1·162	„ 0880
Na_2CO_3	17·5	1·187	„ 0812
K_2SO_4	10·0	1·081	„ 0806
$H_2C_2O_4$	7	1·033	„ 0734
Li_2SO_4	16	1·15	„ 064 *m*
$NaC_2H_3O_2$	21·8	1·114	„ 0610 *m*
BaO_2H_2	3·1	1·032	„ 0540
$MgSO_4$	17·3	1·187	„ 0456
$ZnSO_4$	23·7	1·285	„ 0452
$CuSO_4$	18·1	1·208	„ 0440
$KClO_3$	6·3	1·040	„ 0432
BaN_2O_6	8·4	1·071	„ 0330
KAl_2SO_4	6·4	1·061	„ 0300
Li_2CO_3	0·77	1·063	„ 0194
$C_4H_6O_6$	22·4	1·107	„ 0094 *m*
$C_2H_4O_2$	16·6	1·022	„ 00152 *m*
NH_3	5·3	0·977	„ 00104 *m*

das heisst, eine Quecksilbersäule von 0^0 und 27074 mm Länge bietet denselben Widerstand, wie eine gleich dicke Säule 5 procentiger Salzsäure bei 18^0 und einer Länge von nur 1 mm.

Für concentrirtere Lösungen gilt diese Gleichung 1) nicht mehr oder nur mit Annäherung. Kohlrausch hat den Verlauf der Curven, nach welchen sich das Leitungsvermögen mit dem Procentgehalt ändert, in der citirten Abhandlung ausführlich mitgetheilt. Es ergab sich das Resultat, dass sehr viele Lösungen noch unterhalb ihres Sättigungspunktes ein Maximum des Leitungsvermögens besitzen, eine Thatsache, welche zuerst von Matteucci beobachtet wurde. Bei den übrigen Lösungen ist das Maximum des Leitungsvermögens durch ihren Sättigungspunkt begränzt und steigt deshalb mit der Temperatur. Die Tabelle II. S. 345 giebt hierüber Mittheilung. Sie enthält in der zweiten Spalte den Procentgehalt, welcher dem grössten Leitungsvermögen bei 18^0 C. entspricht. Die letzte Spalte enthält das Leitungsvermögen mit einem beigesetzten m, wenn das Maximum unter dem Sättigungspunkte der Lösung liegt. Das Leitungsvermögen ändert sich mit der Temperatur und zwar steigt es mit derselben. Die Abhängigkeit wird durch den Temperaturcoëfficienten des Leitungsvermögens ausgedrückt, mit welchem Ausdrucke nach F. Kohlrausch der Zuwachs des Leitungsvermögens auf 1^0 Temperaturerhöhung, ausgedrückt in Theilen des Leitungsvermögens bei 18^0, bezeichnet wird. Dieser Coëfficient liegt nach den bisherigen Beobachtungen zwischen 0·0087 (bei $KHSO_4$) und 0·072 (bei $NaOH$ 43 Proc.), wechselt also innerhalb eines grossen Spielraums. Bei den verdünnten Lösungen dagegen ist er zwischen ziemlich engen Gränzen (0·0211 bis 0·0233) eingeschlossen.

Als Flüssigkeiten, die sich als Etalons für das elektrische Leitungsvermögen empfehlen, führt F. Kohlrausch folgende an:

Schwefelsäure vom maximalen Leitungsvermögen, d. h. 30·4 Proc. 1·224 specif. Gewicht

$$10^8 k = 6914 + 113\,(t - 18)$$

(t ist die Temperatur der Flüssigkeit).

Bittersalzlösung von 17·3 Proc. $MgSO_4$ (wasserfrei), 1·187 specifisches Gewicht

$$10^8 k = 456 + 11{\cdot}9\,(t - 18).$$

Zinkvitriol (zuvor mit Zinkoxydhydrat gekocht) bei Arbeiten mit constantem Strome anzuwenden, besitzt bei 23·7 Proc. $ZnSO_4$, 1·285 specif. Gewicht und 18^0 C. die Werthe

	Nach Beetz	Kohlrausch	Tollinger
$10^8 k =$	443	452	461

Kochsalzlösung in der Nähe von 18^0 gesättigt

$$10^8 k = 2015 = 45{\cdot}1\,(t - 18).$$

Essigsäure vom maximalen Leitungsvermögen (16·6 Proc. $C_2 H_4 O_2$, 1·022 specif. Gewicht)

$$10^8 k = 15{\cdot}2 + 0{\cdot}27 \, (t - 18).$$

Bezüglich der insbesondere in chemischer Hinsicht wichtigen Beziehungen, welche F. Kohlrausch hervorgehoben hat, müssen wir auf die citirten Abhandlungen verweisen. Man sehe über dieses Thema auch Wiedemann's Arbeiten in seinem öfter citirten Handbuche des Galvanismus ein.

Das vollkommen reine Wasser leitet den elektrischen Strom nicht; nach den interessanten Versuchen von F. Kohlrausch erfordert es jedoch ganz aussergewöhnliche Vorsichtsmaassregeln, um das Wasser genügend rein darzustellen. Es muss zu diesem Zwecke wiederholt aus Platingefässen in Platinvorlagen destillirt werden, und nimmt dann in kürzester Zeit aus der Luft minimale Mengen von flüchtigen Salzen auf, so dass binnen wenigen Minuten die Leitungsfähigkeit sich wieder herstellt und allmälig zunimmt.

Die Constanten galvanischer Rheomotoren. Das Ohm'- 110
sche Gesetz gestattet uns, die Stromstärke zu berechnen, welche in einem Schliessungskreise von gegebenem Widerstande zu Stande kommt, wenn die elektromotorische Kraft und der innere oder wesentliche Widerstand des Rheomotors bekannt sind, von welchem der Strom ausgeht. Diese letzteren beiden Grössen, welche die Constanten des Rheomotors genannt werden, müssen daher zuerst bestimmt werden, wozu eine Anzahl von Methoden zur Verfügung stehen.

Die einfachste Methode zur Ermittelung dieser Grössen ist ohne Zweifel die Ohm'sche. Man schalte in den aus dicken und nicht zu langen Kupferdrähten gebildeten Schliessungsbogen des galvanischen Bechers, dessen Leitungswiderstand man bestimmen will, eine Tangentenbussole von verschwindend kleinem Widerstande ein und beobachtet die Ablenkung, welche der Strom hervorbringt. Die entsprechende Stromstärke sei J, so haben wir

$$J = \frac{e}{w},$$

wenn e die elektromotorische Kraft und w den wesentlichen Widerstand des Rheomotors (den geringen Widerstand des gutleitenden Schliessungsbogens mitgerechnet) bezeichnet. Schaltet man nun einen ferneren Widerstand r von bekannter Grösse ein (wobei eine der in §. 105 besprochenen Widerstandssäulen die besten Dienste leistet), so nimmt die Ablenkung der Nadel ab und dem geringeren Ablenkungswinkel entspricht die Stromstärke

$$J' = \frac{e}{w + r},$$

durch die Combination dieser beiden Gleichungen erhält man

$$w = \frac{J - J'}{J'} r \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

und

$$e = \frac{J - J'}{J \,.\, J'} r \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Beispiel: Ein Bunsen'scher Becher sei durch einen dicken Kupferdraht und eine Tangentenbussole von verschwindend kleinem Widerstande geschlossen. Der Reductionsfactor der letzteren sei 73·4. Man beobachtet einen Ausschlag von 26^0; nun schaltet man einen Widerstand gleich einer Siemenseinheit ein, worauf die Nadel auf $10\frac{1}{4}^0$ zurückgeht.

Man rechnet zunächst:

$$J = 73{\cdot}4 \; tang \; 26^0 = 35{\cdot}8$$
$$J' = 73{\cdot}4 \; tang \; 10^0 \; 15' = 13{\cdot}3,$$

sodann

$$w = \frac{13{\cdot}3}{35{\cdot}8 - 13{\cdot}3} = 0{\cdot}59,$$
$$e = \frac{35{\cdot}8 \,.\, 13{\cdot}3}{35{\cdot}8 - 13{\cdot}3} = 21{\cdot}16,$$

e und w sind hierbei nach den willkürlichen Maassen von Siemens und von Jacobi gemessen, welche wir in den §. 93 und §. 104 kennen gelernt haben.

Die Gleichung $w = 0{\cdot}59$ bedeutet demnach in Worten soviel als: Der innere Widerstand des untersuchten Elementes ist 0·59 mal so gross als der einer Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Die Gleichung $e = 21{\cdot}16$ lautet in Worte übertragen: Das untersuchte Element liefert in einem Stromkreise vom Gesammtwiderstand gleich einer Siemens-Einheit einen Strom von gleicher Stärke, wie jener, der per Minute 51·16 ccm Knallgas entwickelt. Damit ist aber nicht behauptet, dass es immer möglich sein werde, mittelst eines solchen Elementes in einem Voltameter per Minute 21·16 ccm Knallgas zu entwickeln; denn da das Element selbst schon 0·59 S. E. Widerstand besitzt, so dürfte das Voltameter sammt Drahtleitungen nur noch 0·41 S. E. Widerstand haben, was selten der Fall sein wird, und es dürfte auch durch die Polarisation kein Gegenstrom entstehen, welcher dem directen entgegen wirkt.

Die beschriebene Methode erfordert eine Modification, wenn der Strom zu stark ist, so dass die Verbindungsdrähte zu stark erwärmt werden oder die Nadel so stark abgelenkt wird, dass die Strommessung ungenau wird. Auch ist nicht immer ein Galvanometer ohne merklichen Widerstand zur Verfügung stehend. Man verfährt dann so, dass man die beiden Stromstärken J_1 und J_2 bestimmt, welche herrschen, wenn einmal der äussere Widerstand r_1 (incl. des etwaigen Widerstandes des

Galvanometers), das andere Mal der äussere Widerstand r_2 eingeschaltet wird. Man hat dann

$$J_1 = \frac{e}{w + r_1}, J_2 = \frac{e}{w + r_2},$$

woraus

$$w = \frac{J_2 r_2 - J_1 r_1}{J_1 - J_2}, e = \frac{J_1 J_2}{J_1 - J_2} (r_2 - r_1).$$

Wheatstone hat mehrere Methoden angegeben, von denen wir eine darlegen wollen. Man schliesst ein Element, dessen elektromotorische Kraft $= e$, dessen Widerstand $= w$, durch einen Rheostaten und ein Galvanometer, dessen Gesammtwiderstand $= R$ sei und beobachtet den Ausschlag der Nadel. Sodann ersetzt man das eine Element durch zwei gleiche neben einander eingeschaltete Elemente und schaltet dann so viel Widerstand r ein, bis der Ausschlag wiederum derselbe ist, wie früher.

Man hat zuerst

$$J = \frac{e}{w + R},$$

nachher

$$J = \frac{e}{\frac{w}{2} + R + r},$$

also

$$w = 2r.$$

Hat man J und R bestimmt, so erhält man dann auch e. Wenn es sich nur um die Bestimmung von w handelt, so braucht man kein Galvanometer, sondern nur ein Galvanoskop, weil der Strom nicht gemessen wird. Dasselbe Verfahren lässt sich auf eine grössere paarige Anzahl von gleichen Elementen ausdehnen.

Wenn es sich nur um die Aufgabe handelt, die elektromotorischen Kräfte zweier verschiedener Elemente mit einander zu vergleichen, so kann man sich der Fechner'schen Methode bedienen. Man schliesst nach einander jedes der Elemente durch einen Draht von sehr grossem Widerstande und durch ein Galvanometer, welches sehr schwache Ströme genau messen lässt (graduirter Multiplicator oder Spiegelgalvanometer). Es sei R der Widerstand des ganzen äusseren Schliessungskreises, w_1 und w_2 jener der Elemente, e_1 und e_2 ihre elektromotorischen Kräfte, J_1 und J_2 die beobachteten Stromstärken. Man hat dann:

$$J_1 = \frac{e_1}{w_1 + R}, J_2 = \frac{e_2}{w_2 + R},$$

woraus

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{J_1}{J_2} \cdot \frac{w_1 + R}{w_2 + R}.$$

Sind nun w_1 und w_2 verschwindend klein gegen R, so ist

$$\frac{w_1 + R}{w_2 + R}$$

gleich 1 zu setzen und man hat mit genügender Annäherung

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{J_1}{J_2}.$$

Sind w_1, w_2 und R wenigstens annähernd bekannt, so wird das Verfahren noch genauer. Die Einrichtung des Spiegelgalvanometers werden wir weiter unten besprechen. Hat man kein strommessendes Instrument, sondern nur ein Galvanoskop zur Verfügung, welches die Gleichheit der Stromstärke constatiren lässt, so ist folgende Methode noch bequemer.

Man schliesst nach einander beide Elemente durch Rheostat und Galvanoskop und stellt den Rheostaten so ein, dass beide Male derselbe Strom herrscht. Ist nun der Widerstand des Galvanoskops gleich g, jener der eingeschalteten Rheostatwindungen beim ersten Elemente R_1, beim anderen R_2, so gilt

$$\frac{e_1}{w_1 + g + R_1} = \frac{e_2}{w_2 + g + R_2}.$$

Sind wiederum w_1 und w_2 sehr klein gegen die anderen Widerstände, so kann man setzen

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{g + R_1}{g + R_2}.$$

Alle in diesem Paragraphen beschriebenen Methoden leiden an dem einen Uebelstande, dass sie eine Constanz der elektromotorischen Kraft und des Widerstandes der Elemente während des Versuches voraussetzen, welche durchaus nicht immer vorhanden ist. Selbst die sogenannten constanten Ketten erleiden während ihres Gebrauches eine Aenderung, weshalb man sich zu genauen Bestimmungen ihrer elektromotorischen Kraft anderer im folgenden Paragraphen zu beschreibenden Methoden bedienen muss.

Der Leitungswiderstand verschiedener Rheomotoren ist selbstverständlich keine beständige Grösse, wie die elektromotorische Kraft, denn er ändert sich mit den Dimensionen des Apparates, mit der Beschaffenheit der Thonzellen, dem Concentrationsgrade der Flüssigkeiten etc. Wir können also in Beziehung auf den Leitungswiderstand die verschiedenen Rheomotoren nicht so einfach vergleichen, wie wir es in Beziehung auf die elektromotorische Kraft gethan haben; wir müssen uns hier auf wenige allgemeine Bemerkungen beschränken. Unter sonst gleichen Umständen, d. h. bei gleichen Dimensionen, gleichen Thonzellen und gleichem Verdünnungsgrad der Schwefelsäure, ist der Leitungswiderstand eines Grove'schen und Bunsen'schen Bechers bedeutend kleiner (nach neueren Versuchen im Verhältniss von 6 zu 1) als der eines

Daniell'schen, weil die Salpetersäure besser leitet als die Lösung des Kupfervitriols.

Der Leitungswiderstand eines Bunsen'schen Bechers gewöhnlicher Grösse (22 cm Höhe) beträgt ungefähr 0·05 bis 0·1 S. E.

Messung der elektromotorischen Kraft mittelst der Compensationsmethoden. Die Compensationsmethoden dienen dazu, die elektromotorische Kraft solcher Elemente, welche während des Stromschlusses eine Veränderung ihrer Stärke erleiden, zu messen; auch führen sie bei den nahe constanten Elementen zu genaueren Werthen, als die früher beschriebenen Methoden. Sie beruhen darauf, den Strom des zu untersuchenden Elementes gar nicht zu Stande kommen zu lassen, sondern ihn durch einen gleich starken Gegenstrom zu compensiren. 111

I. Poggendorff's Compensationsmethode.

A. Das zu untersuchende Element $K_2 Z_2$ mit der unbekannten elektromotorischen Kraft E_2 wird mit einem constanten Elemente $K_1 Z_1$ von bekannter elektromotorischer Kraft E_1, ferner mit einem Rheosta-

Fig. 326.

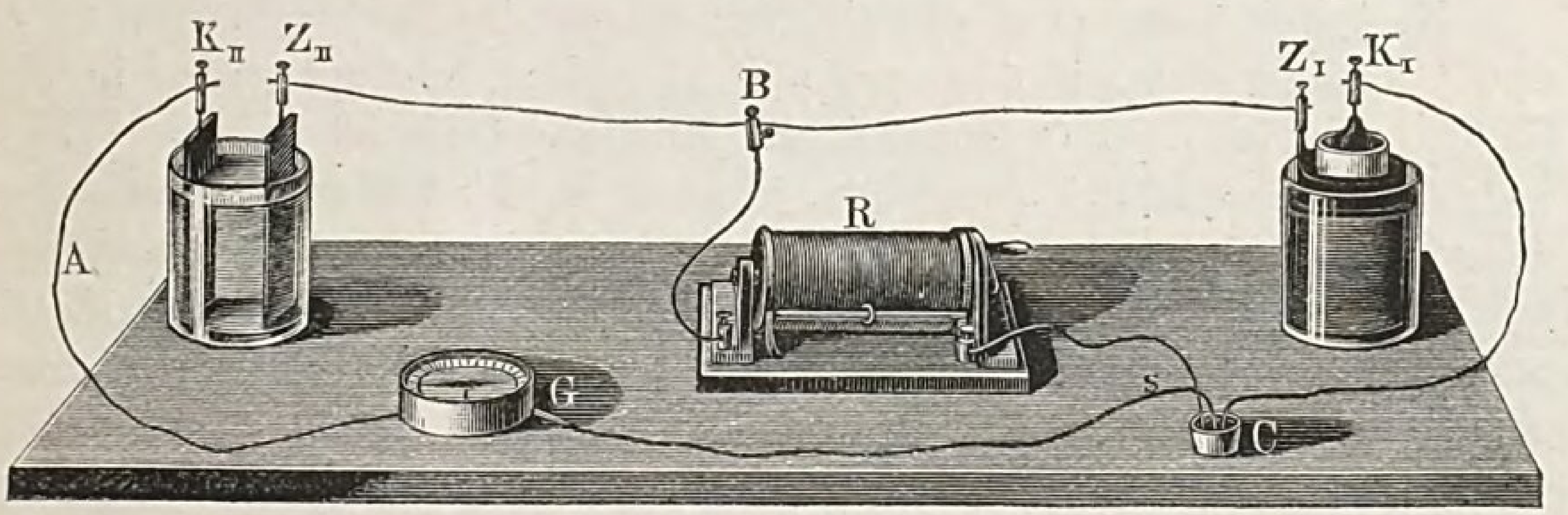
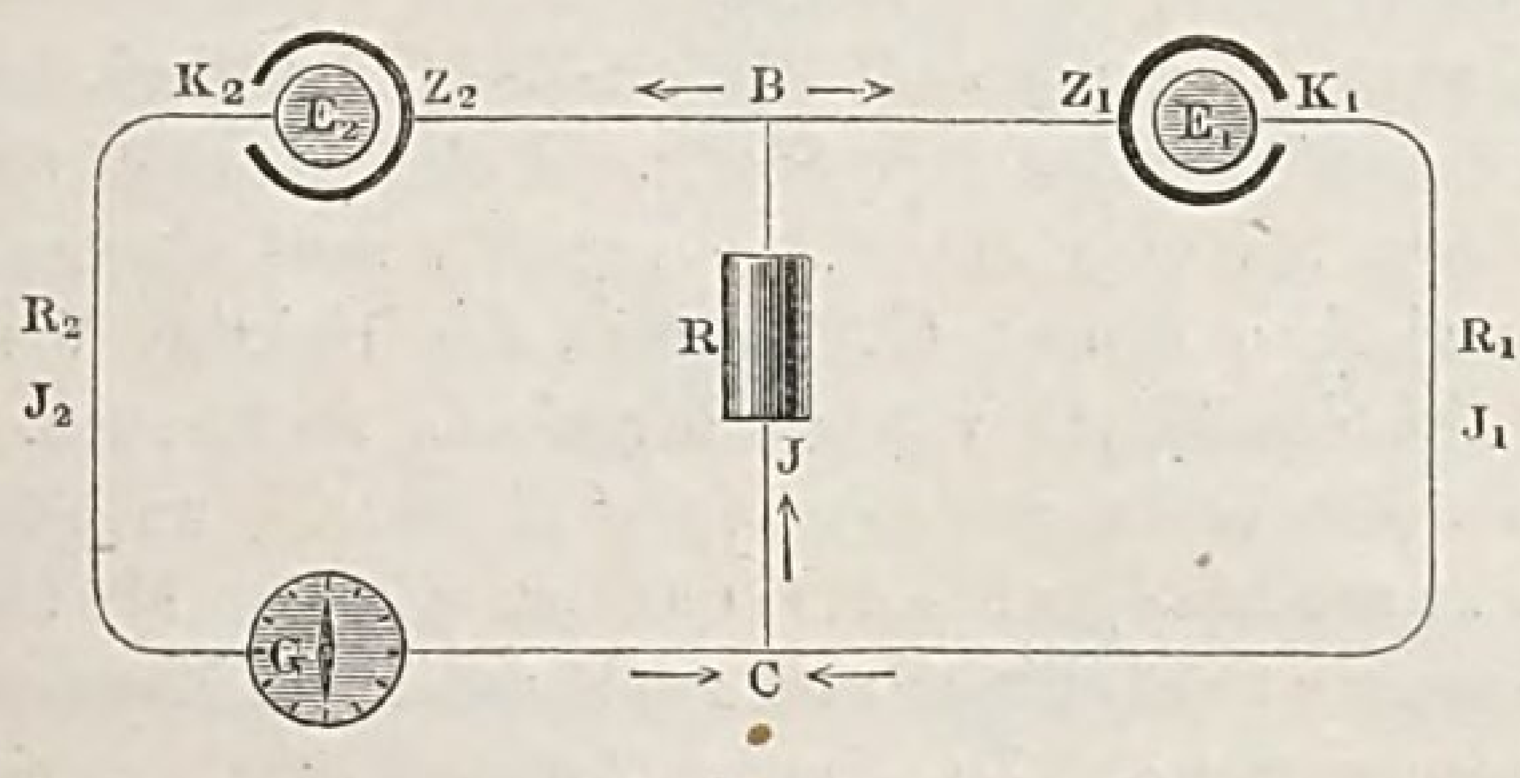


Fig. 327.



ten R und einem Galvanoskop G in der Weise verbunden, wie es die Abbildung, Fig. 326, und deren Grundschema, Fig. 327, darstellt.

Bezeichnen wir

mit R_1 und J_1 Widerstand und Stromstärke in dem Zweige $B\,Z_1\,K_1\,C$
„ R_2 „ J_2 „ „ „ „ „ „ $B\,Z_2\,K_2\,G\,C$
„ R „ J „ „ „ „ „ „ $B\,R\,C$.

Nach §. 107, Beispiel III. gelten dann im Allgemeinen die Beziehungen:

$$J_1 = \frac{E_1 (R_2 + R) - E_2 R}{R_1 R_2 + R (R_1 + R_2)}, \quad J_2 = \frac{E_2 (R_1 + R) - E_1 R}{R_1 R_2 + R (R_1 + R_2)},$$

$$J = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 R_2 + R (R_1 + R_2)}.$$

Es ist also möglich, den Strom J_2 = Null zu machen, wenn man

$$E_2 (R_1 + R) = E_1 R$$

macht, d. h., wenn man den Widerstand R so regulirt, dass

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1 + R}{R}$$

wird. Hat man daher versuchsweise R so lange verändert, bis beim Eintauchen der Drahtenden in den Quecksilbernapf C das Galvanoskop keinen Ausschlag giebt, so ist dann

$$E_2 = E_1 \frac{R}{R + R_1}.$$

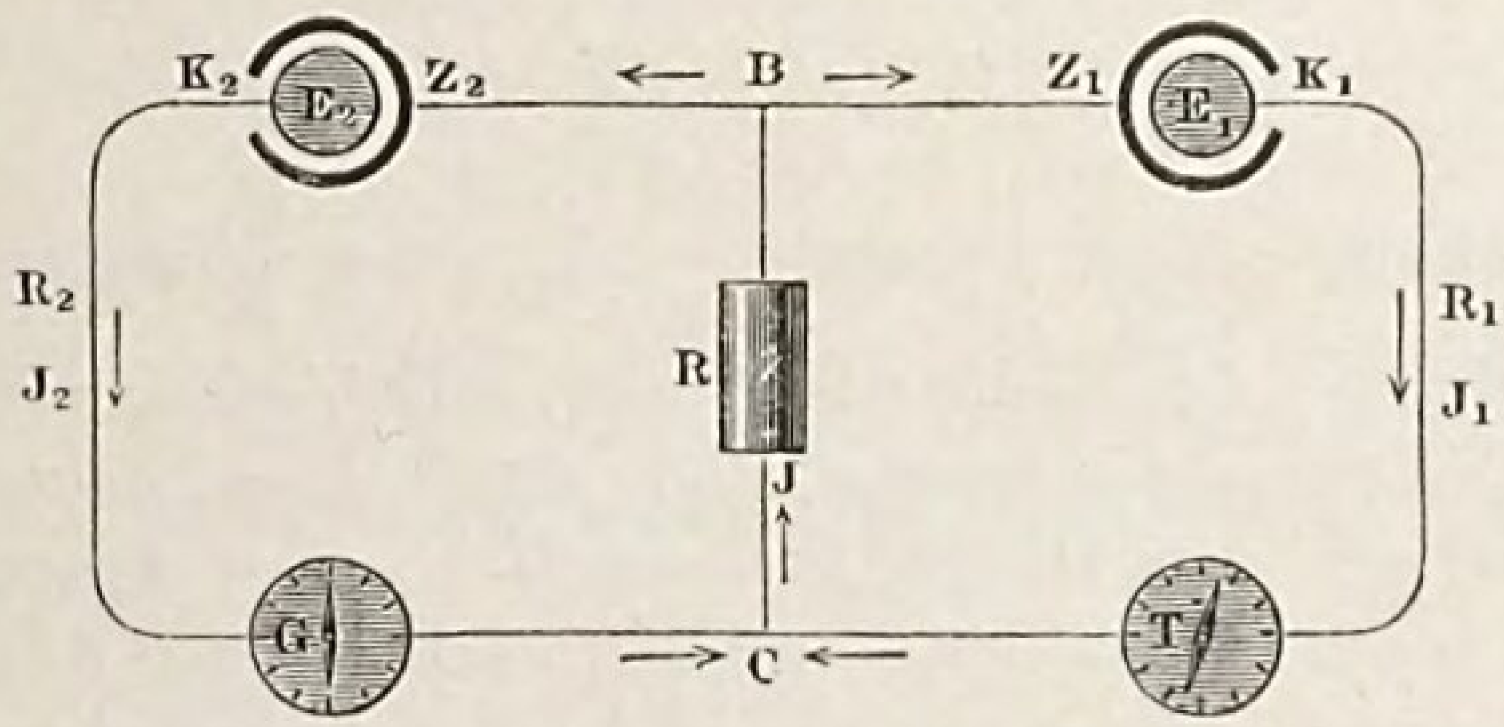
Natürlich kann man die richtige Länge des Drahtes zwischen B und C nicht gleich auf den ersten Wurf treffen, vielmehr wird in der Regel, wenn man bei C schliesst, die Multiplicatornadel nach der einen oder der anderen Seite abweichen, je nachdem der Widerstand zwischen B und C zu klein oder zu gross ist. Mittelst des Rheostaten kann man nun aber die Grösse dieses Widerstandes so reguliren, dass der Multiplicator entweder gar keinen oder doch nur einen ganz schwachen Strom anzeigt.

Dies ist nun als eine erste Annäherung zum richtigen Verhältniss zwischen R_1 und R zu betrachten. Man lässt nun die Kette $Z_2 K_2$ eine Zeit lang ungeschlossen, damit sich alle Polarisation verliere, oder noch besser, man nimmt die negative Platte aus der Flüssigkeit heraus, reinigt sie und setzt sie wieder an ihre Stelle. Entsteht nun noch ein Ausschlag, wenn man bei C schliesst, so regulirt man abermals die Länge des Drahtes zwischen B und C, bis man das richtige Verhältniss hergestellt hat. Um den Werth von E_2 berechnen zu können, hat man nur noch die Grösse der Leitungswiderstände R und R_1 zu bestimmen.

B. Eine zweckmässige Modification dieser Methode ermöglicht es, die etwas umständliche und auch unsichere Messung des Widerstandes R_1 zu umgehen. Zu diesem Zwecke schaltet man noch ein strommessendes Instrument, z. B. eine Tangentenbussole T, in den Zweig $B Z_1 K_1 C$ ein, so dass die Anordnung nach dem Schema, Fig. 328, beschaffen ist. Das constante Element E_1 bleibt an Ort und Stelle, dagegen werden die beiden zu vergleichenden Elemente E_2 und e_2 nach einander an die Stelle E_2 gesetzt und jedesmal der Widerstand des Rheostaten so regulirt, dass in G kein Ausschlag erfolgt. Es seien

die den beiden Elementen E_2 und e_2 entsprechenden Stromstärken in RJ und i, die an dem Galvanometer T abgelesenen: J_1 und i_1, die dazu

Fig. 328.



erforderlichen Widerstände zwischen B und C seien R und r. Nach Kirchhoff's zweitem Satze folgt für den linksseitigen Kreis

$$E_2 = RJ = RJ_1$$
$$e_2 = ri = ri_1,$$

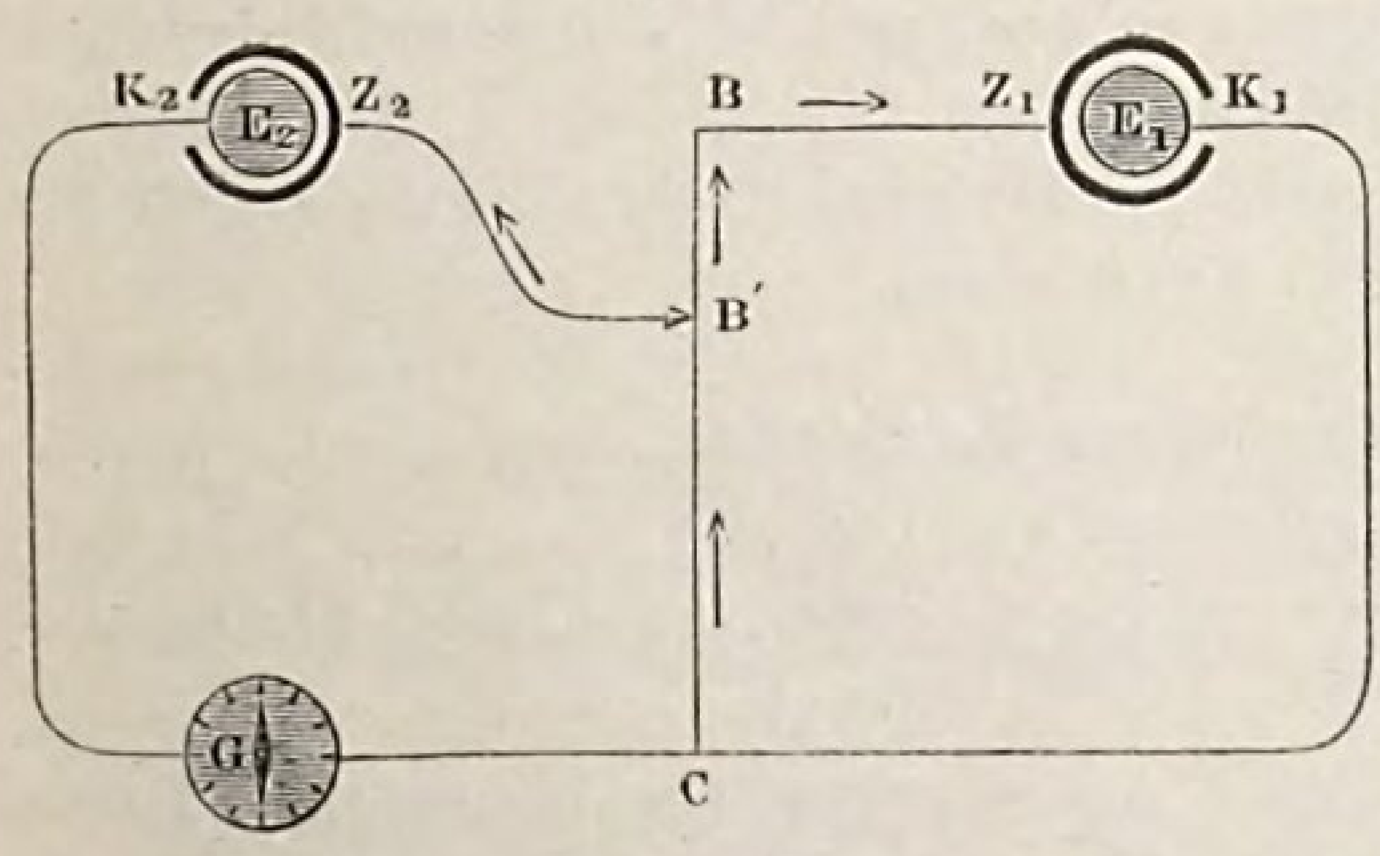
da nämlich der Strom $J_2 = 0$ ist, so ist $J = J_1$ und $i = i_1$. Mithin folgt:

$$\frac{E_2}{e_2} = \frac{RJ_1}{ri_1}.$$

Man kann natürlicher Weise das Galvanometer T auch in den Zweig BC einschalten, muss aber dann seinen Widerstand berücksichtigen, was bei der anderen Anordnung wegfällt. v. Waltenhofen hat eine Modification beschrieben, bei welcher Galvanoskop und Rheostat in den Kreis von E_2 und ein Galvanometer in die Brücke BC eingeschaltet wird.

II. E. du Bois-Reymond hat eine Compensationsmethode angegeben, welche aus dem Schema Fig. 329 auf folgende Weise hervorgeht. Denkt man sich nämlich statt des Rheostaten R einen einfachen, zwischen B und C ausgespannten Platindraht und denkt sich ferner das Ende B des Drahtes Z_2B längs dieses Drahtes gegen C verschiebbar (Fig. 329), so wird dadurch Widerstand von R weggenommen und dafür zu R_1 zugelegt. Die Summe $R + R_1$ bleibt dabei unverändert, wogegen R verändert wird. Da bei dieser Anordnung, wie wir oben gezeigt,

Fig. 329.



$$E_2 = E_1 \frac{R}{R + R_1}$$

ist, worin nun $R + R_1$ eine Constante $= K$ ist, so erhält man

$$E_2 = E_1 \frac{R}{K}.$$

Bei gleichbleibendem Apparate, d. h. wenn $\frac{E_1}{K}$ unverändert bleibt, kann man daher E_2 der Reihe nach durch verschiedene mit einander zu vergleichende Elemente ersetzen und erhält ihre elektromotorischen Kräfte proportional der Drahtlänge von $B' C$. Zur Ausführung dieses Verfahrens kann man sich der Seite 339 beschriebenen Siemens'schen Brücke bedienen. Du Bois-Reymond hat übrigens hierzu einen eigenen Apparat, den nach ihm benannten Compensator durch Halske ausführen lassen, bezüglich dessen Beschreibung wir auf Wiedemann's Galvanismus I, pag. 361 verweisen. Auch bei Siemens' Universalgalvanometer wird dieselbe Anordnung benutzt.

Bei den beschriebenen Methoden muss E_1 grösser sein als E_2. Man verwendet zweckmässig für E_1 ein oder zwei Bunsen'sche Elemente und vergleicht die zu untersuchenden Elemente mit einem Daniell'schen, indem man dieselben an der Stelle von E_2 mit einander vertauscht.

Man vermeidet auf diese Weise eine Fehlerquelle, auf welche A. v. Waltenhofen (Wien. Akad. Ber. IL, p. 229) aufmerksam gemacht hat und welche darauf beruht, dass die compensirte Kette einen polarisirenden Einfluss auf die compensirende stärkere ausübt.

Bezüglich weiterer Abänderungen der Compensationsmethode durch Bosscha, Beetz, Paalzow, Raoult u. A. verweisen wir auf das oben citirte Werk.

Nachdem wir nun die hauptsächlichsten Methoden kennen gelernt haben, nach denen man die elektromotorische Kraft verschiedener hydroelektrischer Stromquellen bestimmen kann, mag hier noch eine Reihe von Zahlenwerthen dieser Grösse folgen, welche von verschiedenen Experimentatoren ermittelt worden sind.

Die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette gleich 1 gesetzt, ist die elektromotorische Kraft eines

Grove'schen Bechers

1.	Nach Poggendorff . . .	1·81	Ohm'sche Methode,
2.	„ „ . . .	1·68	Ohm'sche Methode,
3.	„ „ . . .	1·51	Ohm'sche Methode,
4.	„ „ . . .	1·68	Compensationsmethode,
5.	„ Buff	1·75	Ohm'sche Methode,
6.	„ „	1·79	Fechner'sche Methode,
7.	„ Beetz	1·71	Compensationsmethode,

8.	Nach v. Waltenhofen . .	1·71	Compensationsmethode,
9.	„ „ . . .	1·86	
10.	„ „ . . .	1·76	Fechner'sche Methode.

Poggendorff fand bei Anwendung der Ohm'schen Methode die elektromotorische Kraft eines Grove'schen Bechers verschieden, je nachdem die Flüssigkeiten verschieden waren. Der Werth bei 1) ergab sich für Platin in rauchender Salpetersäure und Zink in einer Mischung von 1 Schwefelsäure in 4 Wasser; der Werth bei 2) ergab sich, als das Zink in der gleichen Flüssigkeit stand, wie bei 1), das Platin aber in Salpetersäure von 1·33 specif. Gewicht. Der Werth bei 3) endlich ergab sich als Platin in der gleichen Flüssigkeit wie bei 2), das Zink aber in 1 Schwefelsäure und 12 Wasserstand.

Was die Resultate A. v. Waltenhofen's (Sitzungsberichte der Wiener Akad. XLIX. Eine vollständige Zusammenstellung der früheren Bestimmungen sammt Angabe der entsprechenden Literatur findet man im ersten Bande von Wiedemann's Galvanismus) betrifft, so wurde der Werth bei 8) erhalten, als der Daniell'sche Becher durch den Grove'schen compensirt war, der Werth bei 9) aber, als der Grove'sche Becher durch eine Säule von zwei Daniell'schen compensirt wurde. Die Flüssigkeit, in welcher das Platin stand, war eine Mischung von 1 Theil käuflicher Salpetersäure mit 2 Theilen Vitriolöl. Diese von A. v. Waltenhofen zuerst vorgeschlagenen Flüssigkeiten geben mit Gaskohle-Zinkelementen bei weitem die grösste elektromotorische Kraft unter allen praktisch anwendbaren Elementen. Als nur käufliche Salpetersäure angewendet wurde, ergaben sich die Werthe 1·65 bis 1·69 und 1·68.

Es ist die elektromotorische Kraft eines

Bunsen'schen Bechers

1.	Nach Buff	1·78	Ohm'sche Methode,
2.	„ „	1·71	
3.	„ „	1·78	Fechner'sche Methode,
4.	„ v. Waltenhofen . . .	1·74	Compensationsmethode,
5.	„ „	1·81	
6.	„ „	1·78	Fechner'sche Methode,
7.	„ „	1·65	Compensationsmethode,
8.	„ „	1·72	
9	„ „	1·68	Fechner'sche Methode.

Bei den Versuchen Nr. 4, 5 und 6 stand die Kohle in einer Mischung von 1 Theil Salpetersäure und 2 Theilen Vitriolöl, bei den Versuchen 7, 8 und 9 aber in käuflicher Salpetersäure.

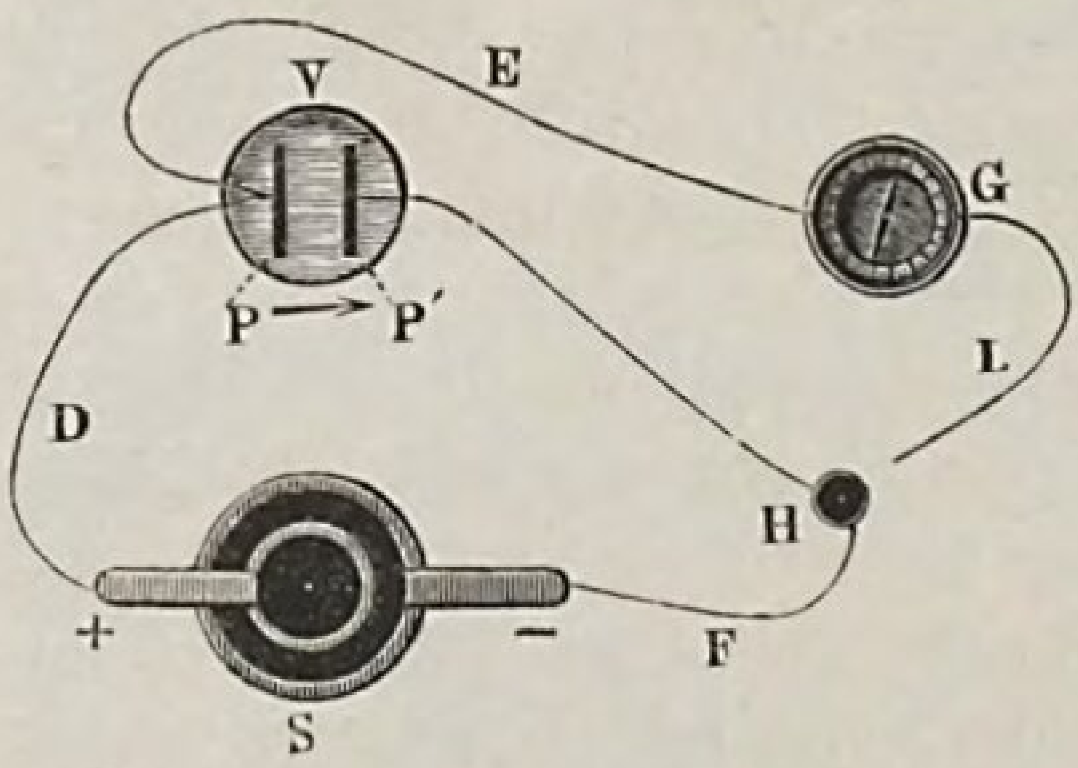
Galvanische Polarisation. Da die Einschaltung eines Volta- 112
meters in den Schliessungsbogen einer Säule eine Verminderung der vorher wirksamen elektromotorischen Kraft zur Folge hat, so muss offenbar in dem Voltameter selbst eine elektromotorische Kraft auftreten,

welche der in der Säule thätigen entgegengesetzt ist, welche also einen dem primitiven entgegengesetzten Strom zu erzeugen strebt.

Dass die Tendenz zu einem solchen Gegenstrom vorhanden ist, lässt sich am besten dadurch zeigen, dass man diesen Strom wirklich zur Entstehung bringt. Es ist dies auf folgende Weise möglich:

Man verbindet die eine Platinplatte *P* des Voltameters *V*, Fig. 330, durch einen Draht *D* mit dem positiven Pol des Zinkkohlenbechers *S* und zugleich durch den Draht *E* mit dem einen Ende der Drahtwindungen eines Galvanometers *G*. Vom anderen Pol der Säule führt ein Draht *F* zum Quecksilbernäpfchen *H*, in welches zugleich ein von der Platinplatte *P'* des Voltameters kommender Draht eintaucht. Ist die Verbindung in dieser Weise hergestellt, so geht durch das Voltameter ein Strom in der Richtung des kleinen Pfeils. Nachdem der Strom nur kurze Zeit gedauert hat, wird der Draht *F* aus dem Quecksilbernäpfchen herausgenommen (also der Strom unterbrochen), dagegen der von *G* kommende Draht *L* in *H* eingetaucht und dadurch das Galvanometer in den Schliessungsbogen des Voltameters gebracht. Es erfolgt alsbald eine Ablenkung der Galvanometernadel in einer solchen Richtung, dass sie einen positiven, von *P'* nach *P* gehenden Strom andeutet, einen Strom also, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, welchen vorher der galvanische Becher *S* durch das Voltameter hindurchgesendet hat.

Fig. 330.



Die Ursache dieser durch den Strom selbst hervorgerufenen elektromotorischen Gegenkraft wird, wie schon oben bemerkt, mit dem Namen der galvanischen Polarisation bezeichnet.

Um abwechselnd das Voltameter in den Schliessungsbogen des Elektromotors und dann wieder das Galvanometer in den Schliessungsbogen des Voltameters zu bringen, kann man sich statt des Quecksilbernäpfchens auch des in Fig. 331 dargestellten Apparates bedienen, welcher wohl ohne nähere Beschreibung verständlich sein wird. Wenn der Metallhebel *K* so steht, wie es die Figur zeigt, dass der an seinem Ende befestigte Metallstift *O* gegen die Metallfeder drückt, welche an dem Messingsäulchen *H* befestigt ist, so geht der Strom des Elektromotors durch das Voltameter *V*. Wird aber der Hebel *K* so weit zurückgedreht, dass der Metallstift *O* mit der Feder in Berührung kommt, welche in dem Messingsäulchen *I* befestigt ist, so ist der Strom des elektromotorischen Bechers *S* ununterbrochen und das Galvanometer *G* ist in den Schliessungsbogen des Voltameters gebracht.

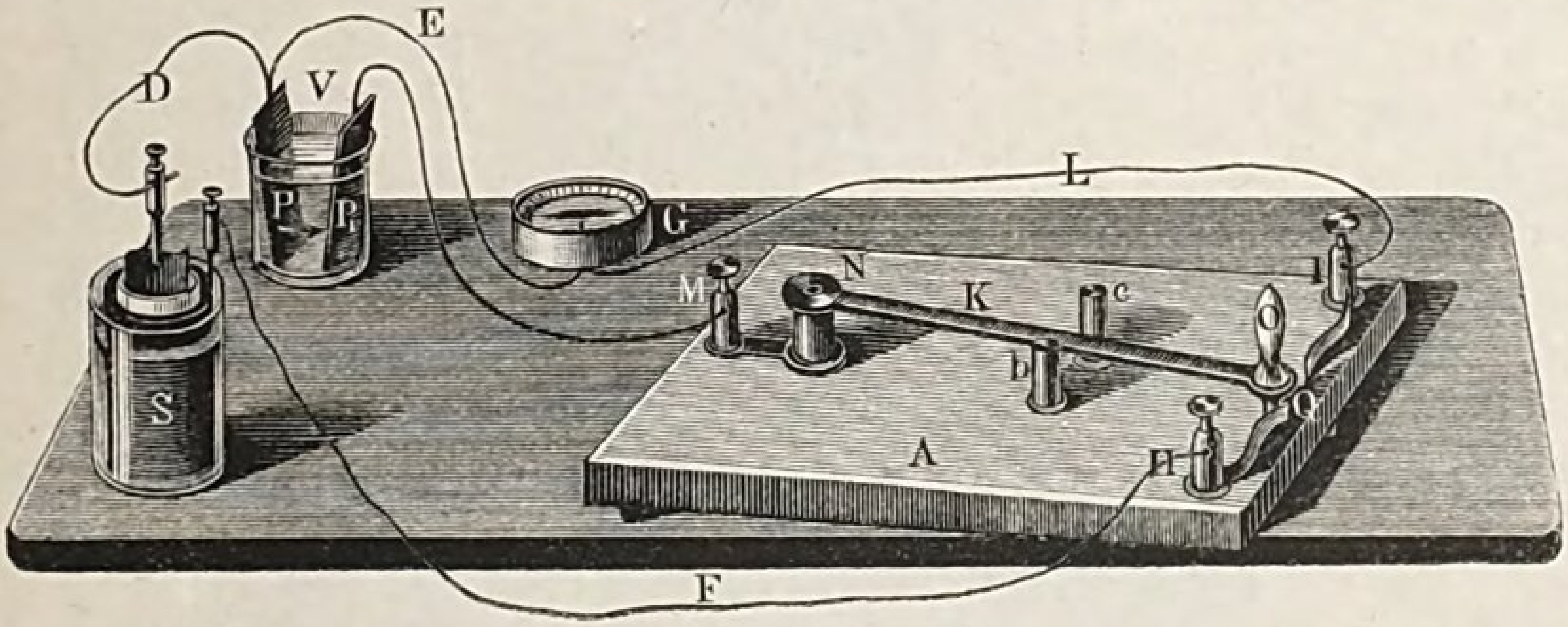
Durch die galvanische Polarisation erklärt es sich nun auch leicht, warum nur eine fast unmerkliche Wasserzersetzung stattfindet, wenn

man ein Voltameter in den Schliessungsbogen eines einzelnen Volta'schen Elementes einschaltet.

Die galvanische Polarisation erklärt uns ferner auch die Wirkung der von Ritter entdeckten Ladungssäule.

Wenn man eine Säule von Kupferscheiben und angefeuchtetem Papier aufbaut und die beiden Enden derselben mit den Polen einer Volta'-

Fig. 331.



schen Säule von hinlänglicher Spannung verbindet, so wird die secundäre Säule ganz in derselben Weise geladen, wie in dem eben betrachteten Falle die Platten des Voltameters. Wir haben eigentlich hier ja nur eine ganze Reihe solcher Zersetzungszellen, deren Platten sämmtlich polarisirt werden. Trennt man die secundäre Säule (auch so wird die Ladungssäule genannt) von der galvanischen Kette, welche zu ihrer Ladung diente, so ist sie nun selbst im Stande, die Erscheinungen einer Volta'schen Säule hervorzubringen; sie zeigt an dem einen Pole positive, am anderen negative Elektricität, und ihr Strom, welcher dem der ladenden Säule entgegengesetzt ist, kann vorübergehend selbst chemische Wirkungen hervorbringen.

Poggendorff hat gezeigt, wie man eine secundäre Säule mit einer einfachen Kette, etwa einem Grove'schen oder Bunsen'schen Becher, laden und durch die Entladung der Säule einen Strom hervorbringen kann, der ungleich stärkere Widerstände überwinden kann, als das zur Ladung angewandte Plattenpaar.

Fig. 332.

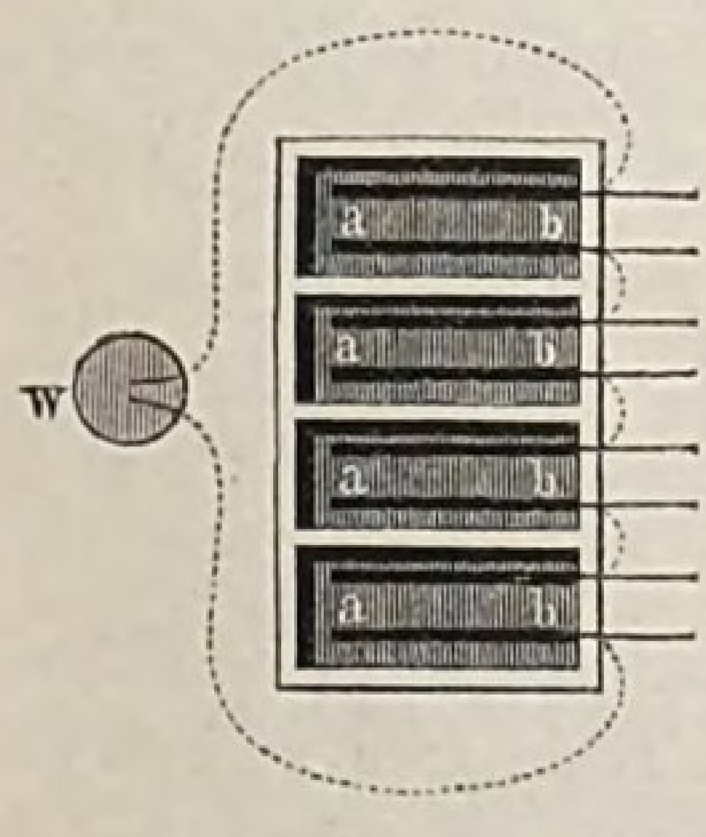


Fig. 332 stellt eine secundäre Säule dar, die aus vier Paaren von Platinplatten besteht; jedes Paar befindet sich in einem besonderen Troge. Wird nun die vordere Platte einer jeden Zelle mit dem einen, die gegenüberstehende mit dem anderen Pole des ladenden Bechers verbunden, so wird jedes Paar von Platinplatten geladen, und zwar ist die Ladung für alle Paare dieselbe. Wird nun die Verbindung mit dem Rheomotor auf-

gehoben, die Platinplatten nach dem Principe der Säule so verbunden, wie es durch die punktirten Linien angedeutet ist, und dann die secundäre Säule durch einen Bogen geschlossen, in welchen ein Voltameter *w* eingeschaltet ist, so entsteht ein Strom, welcher eine kräftige Wasserzersetzung bewirkt, wenn auch das ladende Element eine solche Zersetzung nicht hervorbringt.

Der Entladungsstrom der secundären Säule ist natürlich nur ein vorübergehender. Um eine merkliche Quantität Wasser zu zersetzen, muss man rasch nach jeder Entladung die Platinplatten wieder in entsprechender Weise mit den Polen des primären Rheomotors verbinden, um alsbald eine neue Entladung bewerkstelligen zu können. Poggendorff hat einen sehr sinnreichen Apparat erfunden, den er die Wippe nennt, mit Hülfe dessen die Ladungen und Entladungen sehr rasch ausgeführt werden können.

Neben den Zellen *BB*, welche die Platinplatten aufnehmen, und welche man Fig. 333 im Grundriss sieht, ist ein Brett *AA* angebracht,

Fig. 333.

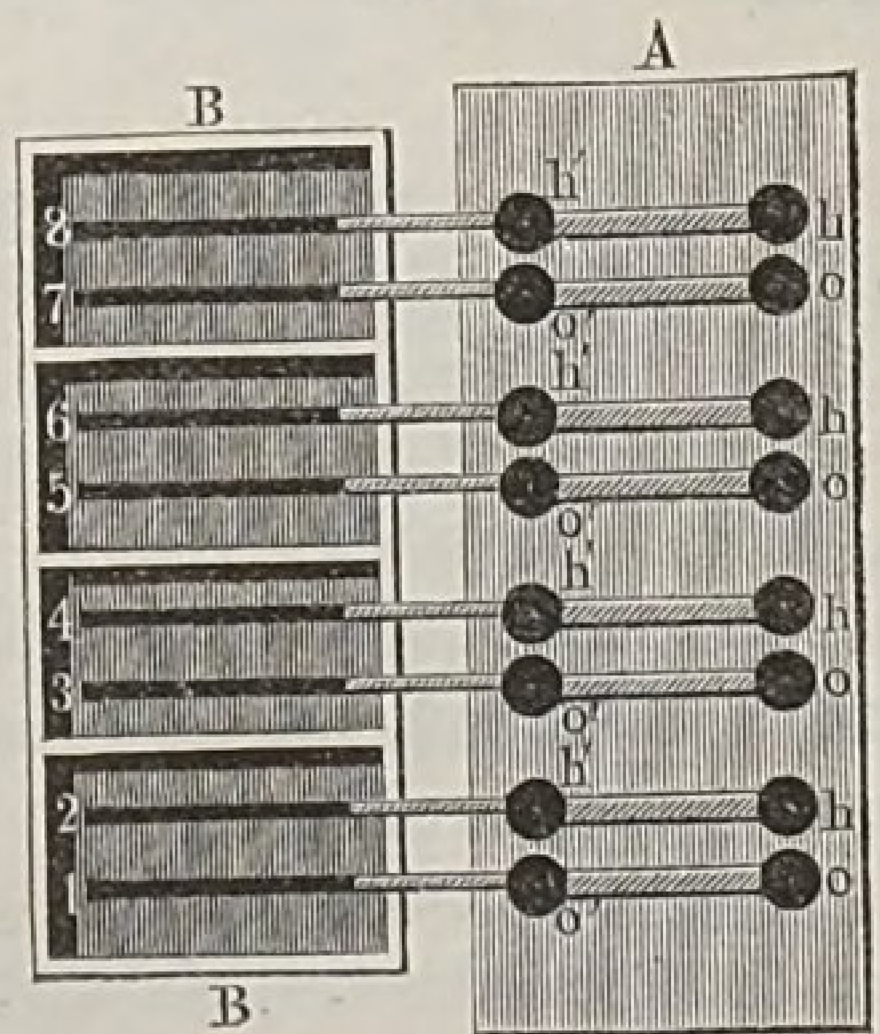
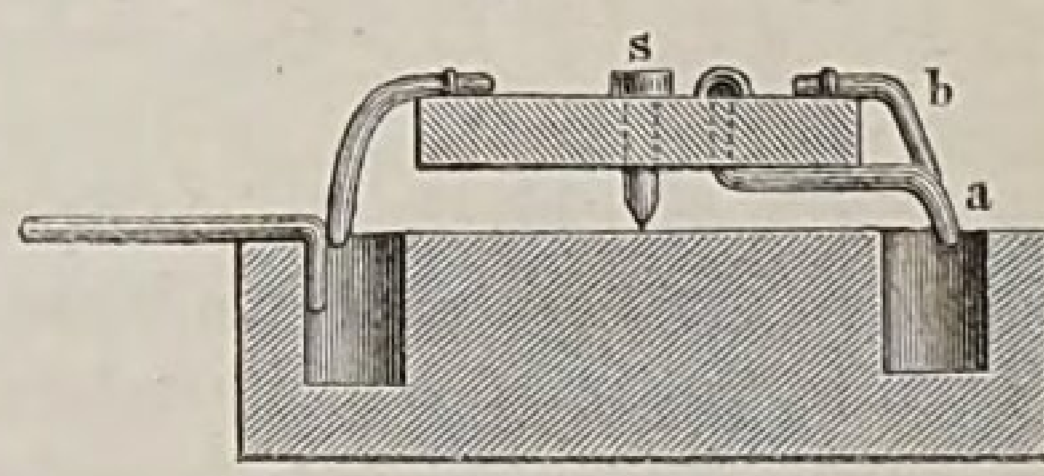


Fig. 334.



welches die Unterlage zur eigentlichen Wippe bildet. Es ist von hartem, dichtem Holz gemacht, $2\frac{1}{2}$ cm dick, 10 cm breit und, falls das Instrument zur Ladung einer Batterie von vier Plattenpaaren dienen soll, ungefähr 15 cm lang.

In dieses Brett sind bis zur Tiefe von ungefähr 12 mm zwei Löcherreihen $h\,o$ und $h'\,o'$ eingebohrt, welche paarweise durch Kupferdrähte, die an beiden Enden hakenförmig herabgebogen, oder auch durch Eisenstäbe, die in das Brett eingelassen sind, verbunden werden, wie es in unseren Figuren gezeigt ist. Die Löcher werden mit Quecksilber gefüllt.

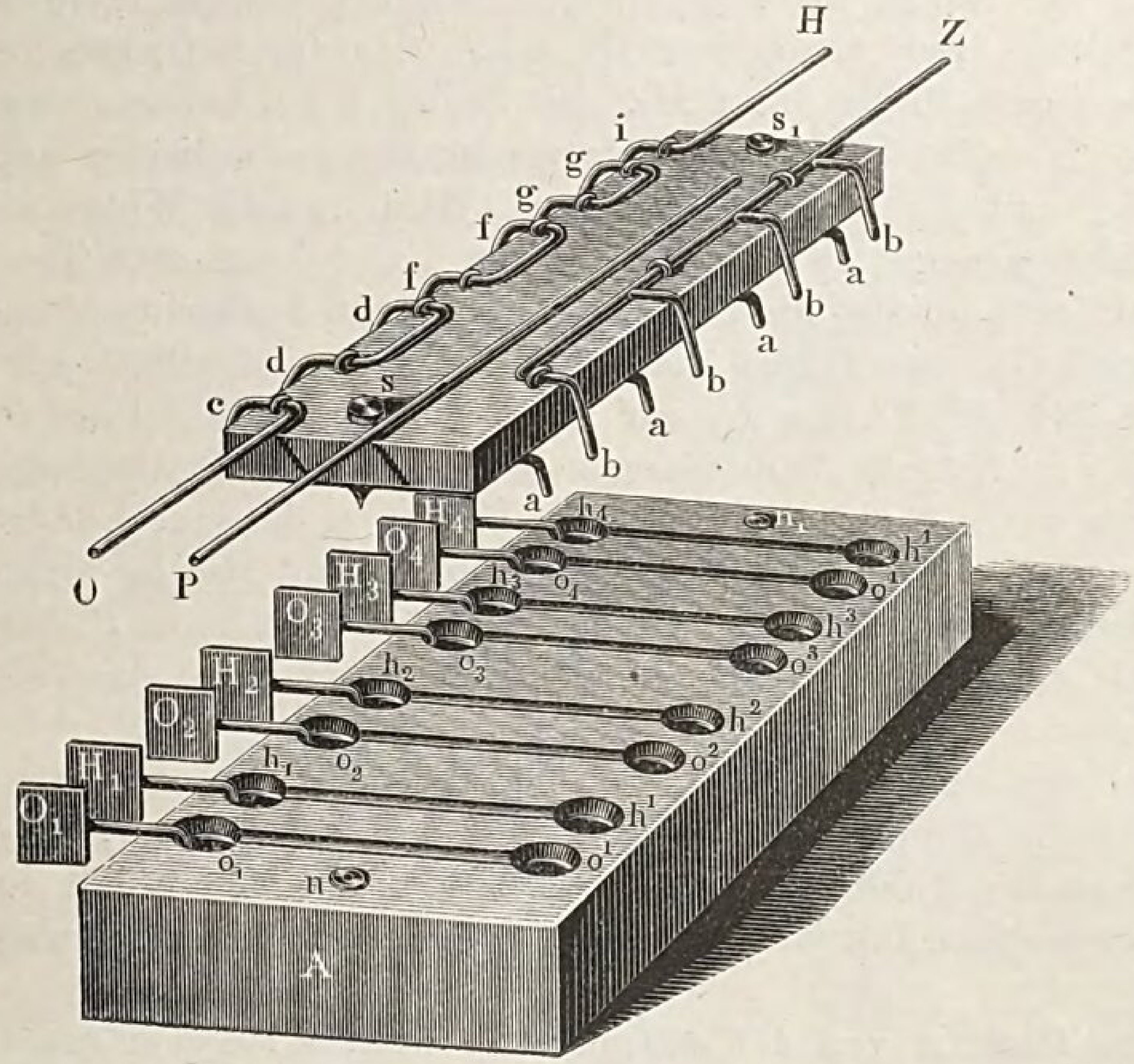
Von der Platinplatte 1 geht ein Kupferdraht nach o', die Platte 1 ist also mit dem vordersten o' und o in leitender Verbindung; ebenso die Platte 2 mit den beiden folgenden Quecksilbernäpfchen h' und h etc.

Damit die Verbindungsdrähte möglichst kurz seien, hat man die Unterlage *AA* durch ein Stativ oder durch Holzklötze in gleiche Höhe mit dem oberen Theil der Platinplatten und diesen recht nahe zu bringen.

Auf die Unterlage kommt die eigentliche Wippe zu stehen, welche in etwas grösserem Maassstabe als in Fig. 333, in Fig. 334 im Vertical-

durchschnitt, und mit der Unterlage in Fig. 335 perspectivisch dargestellt ist.

Fig. 335.



Durch die Mitten der schmalen Seiten eines Brettes von 1 cm Dicke, 4 cm Breite und fast gleicher Länge mit der Unterlage gehen zwei stumpf zugespitzte Stifte s und s_1, welche zwei Vertiefungen n und n' in der Unterlage entsprechen. Mittelst dieser Stifte stützt sich die Wippe auf die Unterlage in der Weise, dass sie entweder nach der einen oder anderen Seite neigt, so dass die an dem Brette befindlichen Haken entweder in die Quecksilbernäpfchen rechts oder links eintauchen.

Diese Haken sind von Kupferdraht. Auf der rechten Seite ist die Hälfte aller Haken, nämlich die mit b bezeichneten, an einem nach hinten verlängerten und dort mit Z bezeichneten Kupferdraht befestigt; die mit a bezeichneten Haken aber gehen durch das Brett hindurch zu einem nach vorn verlängerten und mit P bezeichneten Kupferdraht. Ist nun die Wippe auf die rechte Seite geneigt, so tauchen die mit a bezeichneten Haken in die mit o bezeichneten Löcher, während die mit b bezeichneten Haken in die mit h bezeichneten Löcher eintauchen.

Bei Z ist nun ein Verbindungsdraht angeschraubt, welcher zum Zinkcylinder, bei P ein solcher, welcher zum Kohlencylinder (oder zur Platinplatte) des ladenden Rheomotors geht; wenn also die Wippe nach der rechten Seite geneigt ist, so sind dadurch die Platinplatten O_1, O_2, O_3 . . . mit dem Kohlen-, die Platinplatten H_1, H_2, H_3 . . . mit dem

Zinkcylinder in Verbindung; die mit *O* bezeichneten werden also negativ, die anderen werden positiv polarisirt. (In Fig. 335 sind die fraglichen Platinplatten nur schematisch angedeutet.)

Auf der linken Seite der Wippe befindet sich nun ein anderes Hakensystem. Der vorderste *c* ist nach vorn (nach *O*) gebogen, der hinterste *i* nach hinten (nach *H*). Die beiden mit *d* bezeichneten Haken sind aus einem Stück Kupferdraht gemacht, ebenso die beiden mit *f* und die beiden mit *g* bezeichneten Haken. Wird nun die Wippe nach der linken Seite geneigt, so treten die Haken *a* und *b* aus dem Quecksilber ihrer Näpfchen heraus, die Haken *c*, *d*, *f*, *g* und *i* aber tauchen in die Näpfchen links ein. Durch die Haken *d* werden die Platten 2 und 3 der Fig. 334 (die Platten H_1 und O_2, Fig. 335) durch *f* 4 und 5, durch *g* 6 und 7 in leitende Verbindung gebracht, also die Platinplatten nach dem System der Säule combinirt. Bei *H* nun ist der eine Enddraht des Voltameters, bei *O* der andere angeschraubt; sobald also die Wippe nach der linken Seite gelegt wird, werden die zuvor geladenen Platinplatten zur Säule verbunden, und diese Säule gleichzeitig durch das Voltameter geschlossen.

Um den Process des Ladens und Entladens zu unterhalten, hat man nur die Wippe andauernd hin und her zu bewegen, was leicht 100 mal in der Minute ausgeführt werden kann. Man erhält auf diese Weise zwar einen intermittirenden, aber doch beliebig lange währenden Strom.

Eine Batterie von 4 Plattenpaaren, welche $15\frac{1}{2}$ qcm gross waren und mit einem Grove'schen Element geladen wurden, lieferte bei 80 Ladungen und Entladungen in der Minute 80 bis 90 cbcm Knallgas.

Die Anwendung des Quecksilbers in dieser Wippe bringt mancherlei Unannehmlichkeiten mit sich; J. Müller hat in seinem „Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik“ Seite 355 einen Apparat beschrieben, durch welchen ohne Quecksilber derselbe Effect hervorgebracht wird wie durch die Wippe.

Die Platinplatten der Poggendorff'schen Ladungssäule waren mit Platinmoor überzogen.

Thomsen hat aus platinirten Platinplatten, Planté aus Bleiplatten sogenannte Polarisationsbatterien construirt, welche sich durch sehr grosse elektromotorische Kraft auszeichnen.

Die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes ist abhängig von der elektromotorischen Kraft des primären Stromes, von der Beschaffenheit der Flüssigkeit, von der Stromdichte (Grösse der Elektrodenplatten) und noch einigen Umständen, worüber mehrfache Untersuchungen vorliegen. Wir folgen hier den zuletzt von F. Exner hierüber veröffentlichten Mittheilungen (Wien. Akad. Ber. 1878). Dieser Physiker bediente sich zur Messung der elektromotorischen Kräfte eines Branly'schen Quadranten-Elektrometers von Bourbouze in Paris, welches im Princip mit dem auf S. 134 beschriebenen Instrumente übereinstimmt. Je zwei gegen-

überstehende Quadrantenplatten wurden mit dem einen Pole, die anderen beiden Quadranten mit dem anderen Pole einer Zamboni'schen Säule verbunden. Die Aluminiumplatte wurde dann abwechselnd durch einen Pol der primären Stromkette, dann des Polarisationsstromes, endlich zur Vergleichung mit einem Pol einer Daniell'schen Kette geladen, während jedesmal der andere Pol zur Erde abgeleitet war. Die mit Fernrohr und Scala abgelesenen Ausschläge waren direct proportional den elektromotorischen Kräften und wurden auf jene von einem Daniell als Eins reducirt. Als primäre Stromquelle wurde eine Noë'sche Thermosäule angewandt, welche wir später beschreiben werden. Als destillirtes, ausgekochtes und durch Auspumpen luftfrei gemachtes Wasser zwischen Wollaston'schen Spitzen aus feinstem Platindrahte untersucht wurde, ergaben sich folgende zusammengehörige Werthe:

Elektromotorische Kraft (Daniell = 1) des primären Stromes	der Polarisation
0·03	0·03
0·20	0·20
0·37	0·36
0·43	0·43
0·60	0·60
0·90	0·91
1·03	1·03
1·28	1·28
1·54	1·53
1·94	1·90
2·11	2·00
2·31	2·03
2·54	2·03
3·09	2·03
4·03	2·03

Man sieht, dass die elektromotorische Kraft der Polarisation anfangs genau gleich bleibt den ansteigenden Werthen der elektromotorischen Kraft des primären Stromes, bis das Maximum von 2·03 Daniell erreicht ist, welches dann constant bleibt. Dies ist zugleich der Punkt, bei welchem die sichtbare Zersetzung des Wassers beginnt.

Wird das Wasser mit Schwefelsäure angesäuert, so bleibt der Verlauf derselbe, nur liegt der Maximalwerth der elektromotorischen Kraft der Polarisation viel tiefer (bei 1·60 Daniell).

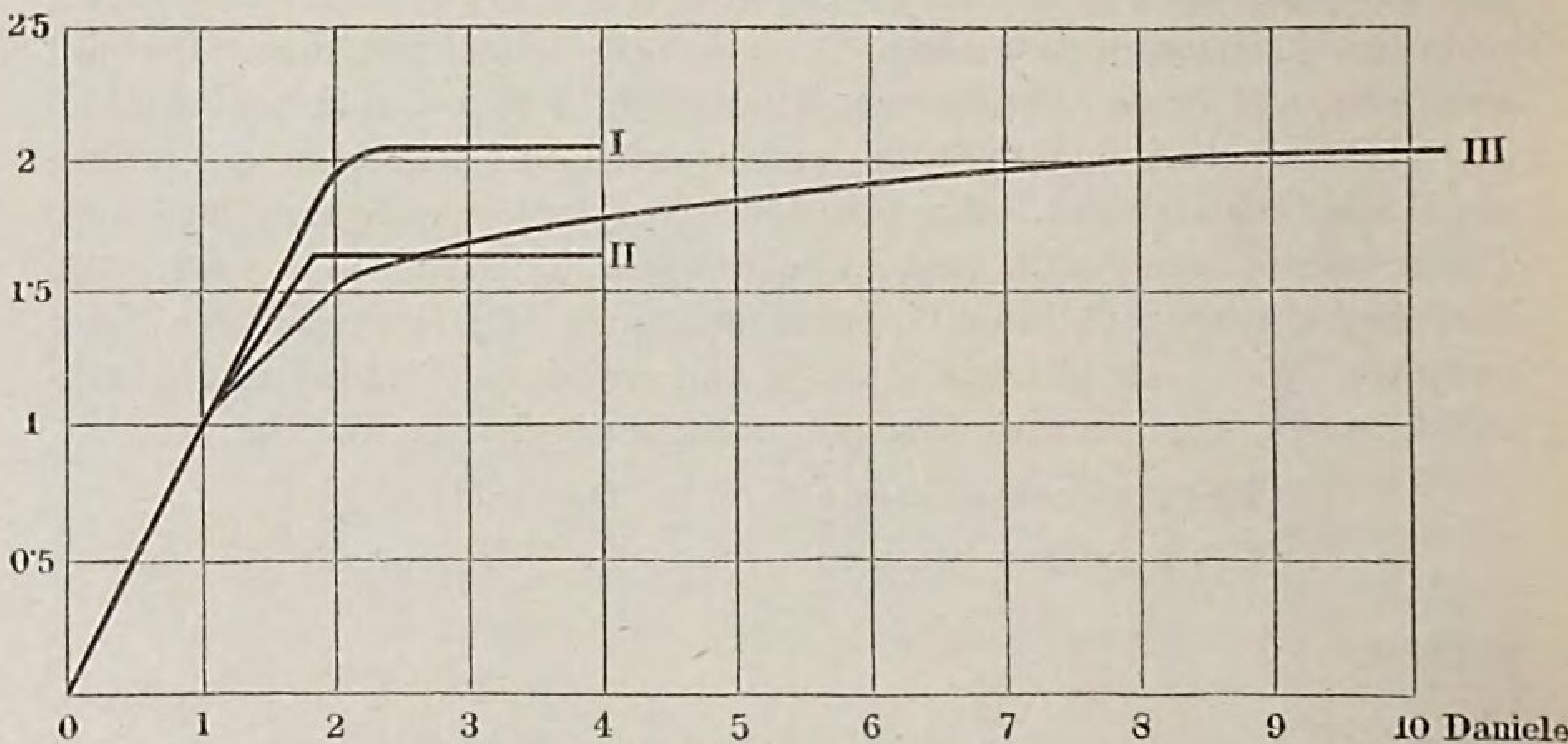
Bei Anwendung grosser Stromstärken wird durch Bildung von Wasserstoffhyperoxyd eine Aenderung herbeigeführt, indem dann der Werth des Maximums bei verschiedenen Versuchsbedingungen verschieden hoch ausfällt.

Die Vergrösserung der Platinelektroden ändert den Verlauf der Erscheinung nicht wesentlich, vorausgesetzt, dass das Wasser vollständig

gasfrei ist, widrigenfalls eine Störung eintritt, die wir später unter dem Namen der elektrolytischen Convection kennen lernen werden.

Die Fig. 336 stellt drei Curven dar, deren Abscissen den elektro-

Fig. 336.



motorischen Kräften der primären Kette, deren Ordinaten (in doppeltem Maassstabe) den elektromotorischen Kräften der Polarisation nach F. Exner's Versuchen entspricht, und zwar wurde Curve I. bei Anwendung luftfreien Wassers, Curve II. bei angesäuertem Wasser, Curve III. bei sehr grosser Stromstärke erhalten, bei welcher Wasserstoffhyperoxyd gebildet wurde.

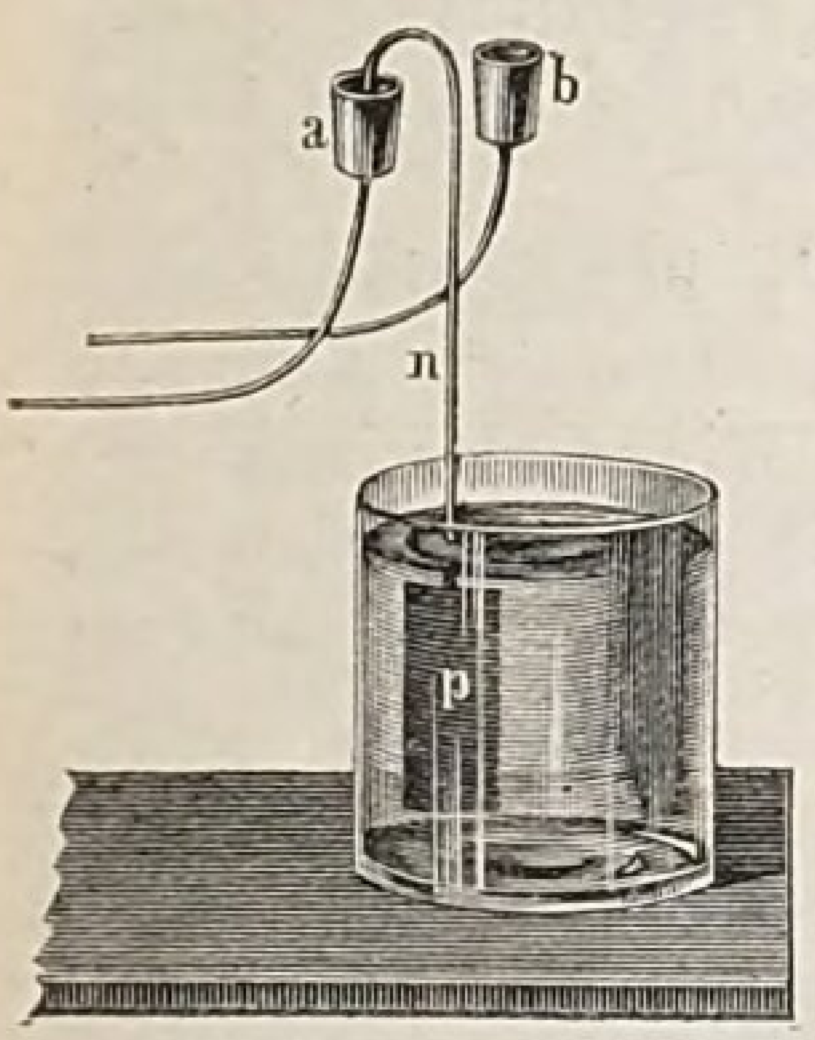
Ausserdem hängt die Grösse der Polarisation ganz besonders von der Beschaffenheit und dem Materiale der Polplatten ab, da von diesen die chemischen Processe abhängen, welche in der Zersetzungszelle vor sich gehen. Platten von Kupfer in Kupfervitriollösung z. B. geben fast gar keine Polarisation. Gänzlich unpolarisirbare Elektroden werden nach Du Bois-Reymond nur erhalten aus amalgamirtem Zink in Lösung von Zinkvitriol oder Chlorzink. Es ist dies für physiologische Versuche von grosser Wichtigkeit.

113 **Ursache der galvanischen Polarisation.** Was nun die Ursache der galvanischen Polarisation betrifft, so schienen die Thatsachen darauf hinzudeuten, dass sie in einer Gasschicht zu suchen sei, mit welcher sich die Platten des Voltameters in Folge der Wasserzersetzung bekleiden. Die negative Polplatte überzieht sich nämlich mit Wasserstoff und wird dadurch elektropositiv gegen die andere, die sich in gleicher Weise mit Sauerstoff bekleidet.

Für die Richtigkeit dieser Erklärung scheint folgender Versuch Schönbein's zu sprechen. In ein Quecksilbernäpfchen *a*, Fig. 337, welches mit dem einen Drahtende eines nicht sehr empfindlichen Multiplicators

in Verbindung steht, ist der Draht einer Platinplatte *p* eingetaucht, welche vorher wohl gereinigt sein muss, und die in ein Gefäss mit gesäuertem Wasser herabhängt. — Hängt man nun in das Näpfchen *b* den Draht einer zweiten, ganz gleichen Platinplatte, welche vorher ebenfalls gehörig gereinigt wurde, und die auch in die saure Flüssigkeit eintaucht, so bleibt die Multiplicatornadel ruhig, weil die beiden Platinplatten elektromotorisch gleich sind. Hat man aber die zweite Platinplatte, die wir mit *p'* bezeichnen wollen, vorher eine Zeit lang in eine Atmosphäre von Wasserstoff eingetaucht, so zeigt sie sich jetzt elektropositiv gegen die andere, die Multiplicatornadel wird in einer Richtung abgelenkt, welche zeigt, dass in der Flüssigkeit ein positiver Strom von *p'* nach *p* geht.

Fig. 337.



War die Platte *p'* in eine Atmosphäre von Chlor eingetaucht gewesen, so zeigt sie sich elektronegativ gegen *p*.

Hat die Platinplatte *p'* als negative Polplatte zur galvanischen Wasserzersetzung gedient, so verhält sie sich genau so, als ob sie in eine Flasche mit Wasserstoffgas eingetaucht gewesen wäre.

So lange man an der Contacttheorie des galvanischen Stromes festhielt, musste man demgemäss annehmen, dass die an den Polplatten ausgeschiedenen Bestandtheile der Flüssigkeit durch den Contact mit den Metallen der Platten Elektricität entwickeln und so zum Sitze einer elektromotorischen Kraft werden, welche jener des primären Stromes entgegenwirkt.

Wenn man aber die Contacttheorie überhaupt fallen lässt, so muss auch diese Polarisationstheorie aufgegeben und versucht werden, die beobachteten Thatsachen anderweitig zu erklären. J. Bosscha und F. Exner haben dies in der That gethan, indem sie die Polarisation auf die chemischen Processe zurückführten, welche zwischen den durch den Strom abgeschiedenen Bestandtheilen vor sich gehen. Diese Bestandtheile suchen sich nämlich wieder zu vereinigen, wenn sie nicht durch andere chemische Vorgänge daran verhindert werden.

Wir können auf diesen Gegenstand erst dann wieder zurückkommen, wenn wir zuvor die Gesetze der Elektrolyse entwickelt haben werden. Hier sei nur noch auf den Zusammenhang zwischen der Polarisation und der Theorie der constanten Ketten hingewiesen. Man dachte sich denselben früher folgendermaassen.

Der galvanische Strom zersetzt nicht allein die Flüssigkeit im Voltameter, sondern es findet eine ähnliche Zersetzung in jedem Becher, in jeder Zelle des Rheomotors statt. Der Sauerstoff wandert zur positiven Platte, welche in den meisten Fällen Zink ist, und oxydirt dieselbe; hier findet also keine Gasablagerung statt, die zu einer galvanischen

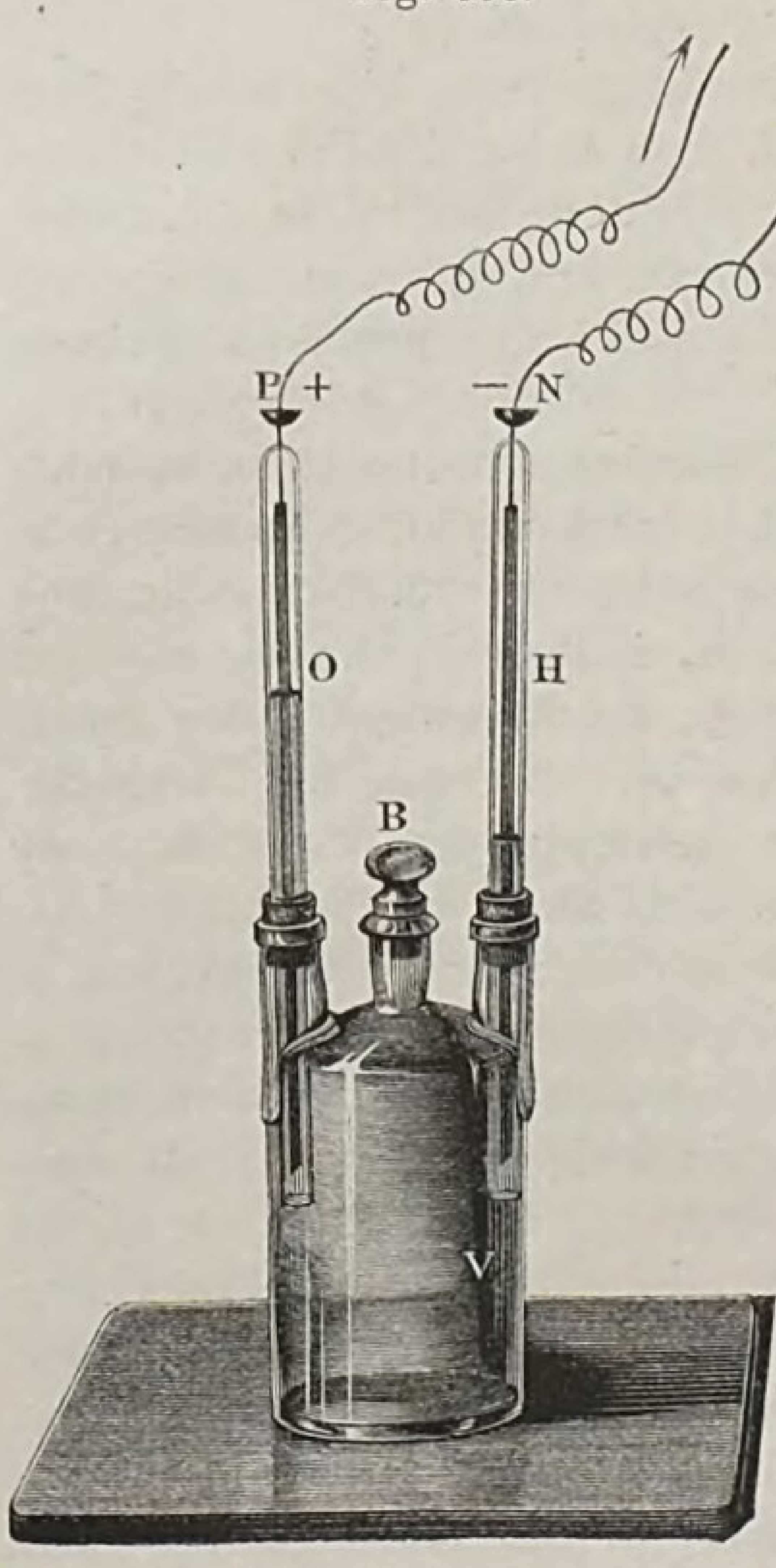
Polarisation Anlass geben könnte; der Wasserstoff lagert sich aber auf der negativen Polplatte ab und kann also eine merkliche Verminderung der ursprünglichen elektromotorischen Kraft bewirken, die sich dann mit der Stromstärke ändert.

Das Wesen der constanten Ketten bestände also darin, dass eine Wasserstoffablagerung an der negativen Polplatte verhindert wird. Bei der Bunsen'schen und Grove'schen Kette geschieht dies dadurch, dass die negative Polplatte in Salpetersäure steht, welche den ausgeschiedenen Wasserstoff sogleich bei seiner Entstehung wieder oxydirt.

Diese Erklärungsweise ist nach F. Exner's Polarisationstheorie nicht mehr zutreffend, denn man kann nach derselben nicht mehr von der Polarisation der einen Platte allein sprechen. Wir werden an geeigneter Stelle zeigen, welche Modification die Theorie der constanten Ketten erfahren muss, um mit der neuen Polarisationstheorie in Einklang gebracht zu werden.

114 **Grove's Gasbatterie.** Die in den beiden letzten Paragraphen besprochenen Thatsachen stehen im Zusammenhange mit der Wirkung der von Grove construirten Gasbatterie. Fig. 338 stellt ein einzelnes Element der Gassäule dar. Ein Glas *V*, welches mit drei Hälsen versehen ist, wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt und dann in die beiden seitlichen Hälse mittelst wohlschliessender Korke die Glasröhren *O* und *H* eingesteckt. Diese Glasröhren sind unten offen, oben geschlossen; in dem oberen Ende ist aber ein Platindraht eingeschmolzen, welcher oben ein Platinnäpfchen, unten aber ein fast bis zum unteren Ende der Röhre reichendes Streifchen von Platinblech trägt, welches mit Platinmoor überzogen ist. Sind die beiden Röhren eingesetzt, so werden sie zunächst mit verdünnter Schwefelsäure dadurch gefüllt, dass man den Hals bei *B* schliesst, und dann das ganze Gefäss umkehrt. Nachdem nun beide Röhren mit der Flüssigkeit gefüllt sind, lässt man in die eine mittelst eines durch die Oeffnung bei *B* ein-

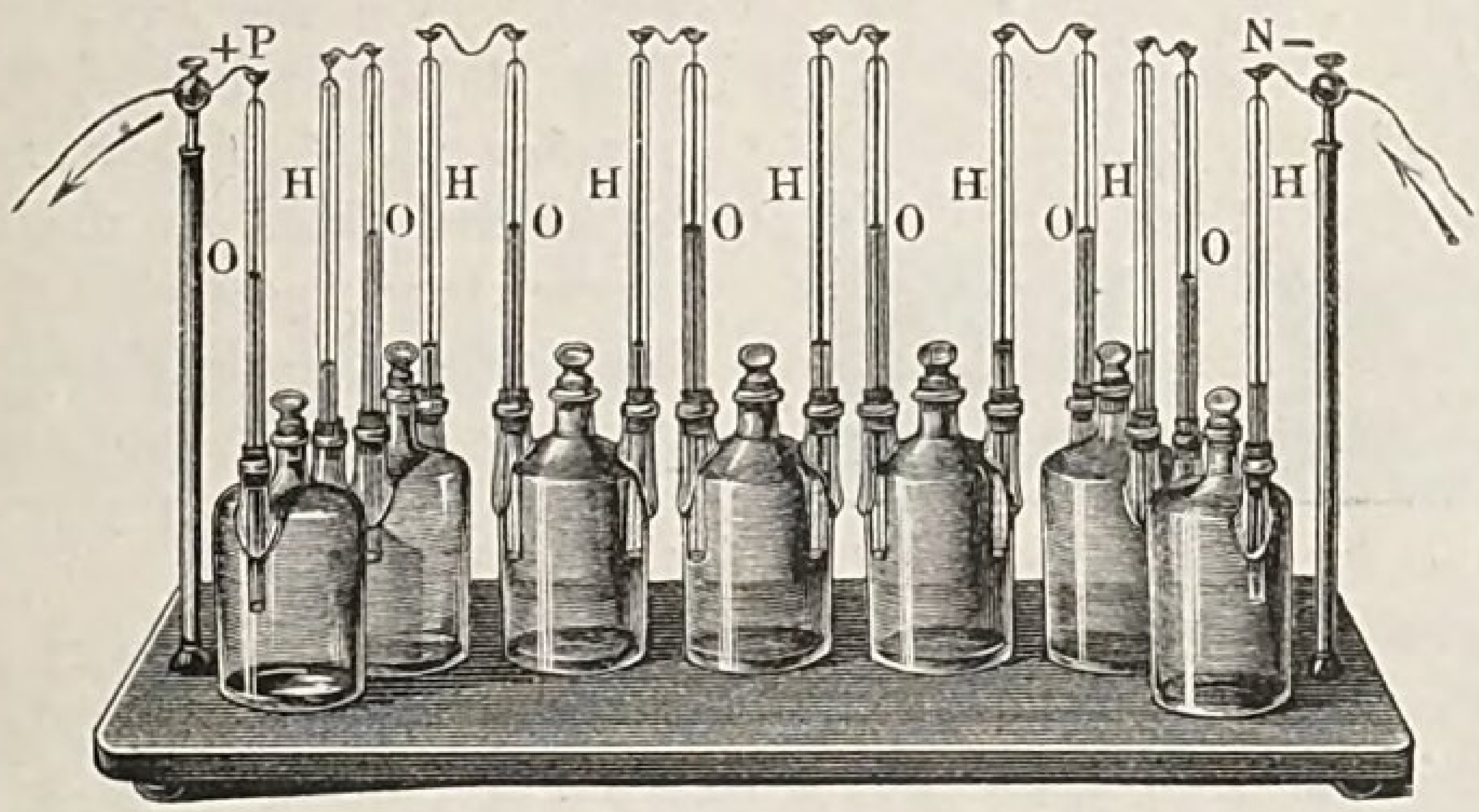
Fig. 338.



geführten Gasentbindungsrohres Sauerstoffgas, in die andere aber Wasserstoffgas aufsteigen, und dadurch wird der Apparat in ein galvanisch wirksames Plattenpaar verwandelt, und zwar so, dass das über dem Sauerstoff befindliche Quecksilbernäpfchen zum positiven, das andere zum negativen Pole wird, wie sich dies ohne Weiteres aus den beiden vorhergehenden Paragraphen ergiebt.

Wenn man mehrere solcher Gasbecher in der Weise zusammenstellt, wie es Fig. 339 zeigt, und das Quecksilbernäpfchen einer jeden Wasserstoffröhre mit dem Quecksilbernäpfchen der Sauerstoffröhre des folgenden Gases in leitende Verbindung setzt, so erhält man eine Gassäule, deren Strom kräftig genug ist, um in einem zwischen die Pole

Fig. 339.



derselben eingeschalteten Voltameter eine Wasserzersetzung zu bewirken.

Sobald durch die leitende Verbindung der beiden Pole der Gassäule der Strom hergestellt ist, sieht man, dass die Gasmenge in den Röhren fortwährend abnimmt, und zwar ist die Menge des verschwindenden Wasserstoffgases doppelt so gross, als die des in gleicher Zeit verschwundenen Sauerstoffgases.

Diese Thatsache ist in vollem Einklange mit der Polarisationstheorie von F. Exner, welche eben auf der Annahme einer Wiedervereinigung der ausgeschiedenen Bestandtheile beruht. Freilich muss auch die Theorie der Gasbatterie eine entsprechende Modification erleiden.

Passivität des Eisens. Taucht man einen Eisendraht in verdünnte Salpetersäure von weniger als 1·35 specif. Gewicht, so wird er lebhaft angegriffen; taucht man ihn dagegen in concentrirte Salpetersäure, so wird er nicht von derselben angegriffen. Ja wenn er in die concentrirte Säure eingetaucht war, so kann man ihn nun selbst in weniger concentrirte Säure bringen, ohne dass er von derselben angegriffen wird. Durch das Eintauchen in concentrirte Säure ist also der Eisendraht gewissermaassen passiv geworden. 115

Die Behandlung mit concentrirter Salpetersäure ist jedoch nicht das einzige Mittel, wodurch man Eisen passiv machen kann. Wenn man einen Eisendraht in der Weingeistflamme bis zum Anlaufen erhitzt, so wird er dadurch gleichfalls passiv gemacht.

Taucht man in Salpetersäure von 1·35 specifischem Gewicht zuerst einen Platindraht *P*, Fig. 340, berührt man denselben mit einem wohl gereinigten Eisendraht, so wird derselbe nicht von der Säure angegriffen, wenn man ihn in die Flüssigkeit eintaucht, während er ausserhalb fortwährend mit dem Platindrahte in Berührung bleibt, obgleich derselbe Draht für sich allein lebhaft von der Säure angegriffen wird. Taucht man statt des Platindrahtes das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes in die Flüssigkeit, so kann dieser vollkommen die Rolle des Platindrahtes im vorigen Versuch übernehmen.

Fig. 340.



Fig. 341.

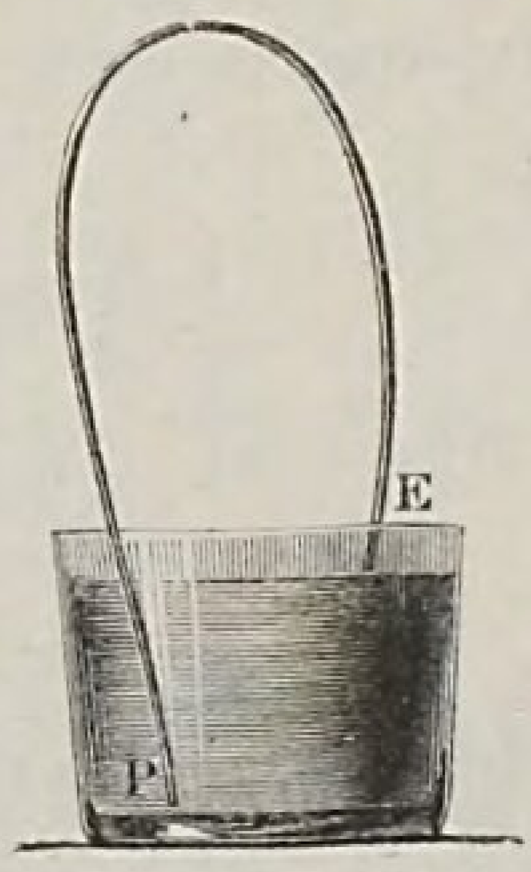


Fig. 341 stellt ein Variation dieses Versuches dar. Das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes werde in Salpetersäure von 1·35 specifischem Gewicht getaucht. — Es wird nicht angegriffen. Biegt man aber nun den Draht um, so wird auch das ungeglühte Ende *E* beim Eintauchen in die Flüssigkeit nicht angegriffen, während ein heftiger Angriff erfolgt, wenn man das ungeglühte Ende *E* in die Flüssigkeit eintaucht, ohne dass sich das geglühte Ende *P* schon darin befindet.

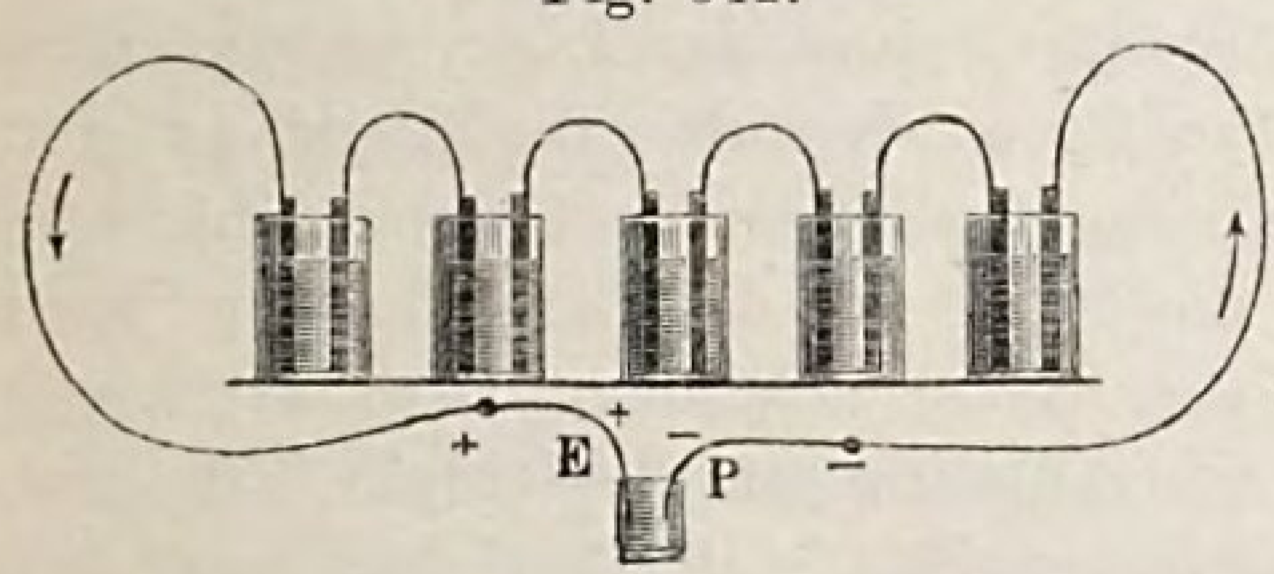
Hat man den Draht *E*, Fig. 340, in die Flüssigkeit eingeschoben, während er ausserhalb mit *P* in Berührung blieb, so kann man nun *P* ganz entfernen, ohne dass der Draht *E* seine Passivität verliert; ja man kann mit dem auf die erwähnte Weise passiv gemachten Drahte *E* die Passivität auf einen weiteren gewöhnlichen Eisendraht in derselben Weise übertragen, wie man sie von *P* und *E* übertrug.

Es ist klar, dass die durch das Glühen des Eisendrahtes gebildete Oxydulschicht den Eisendraht vor dem Angriff der Säure schützt, und dadurch ist die Idee nahe gelegt, dass das passive Eisen selbst in solchen Fällen, wo eine solche Schicht nicht sichtbar wird, z. B. beim Eintauchen in concentrirte Salpetersäure, dennoch diese Eigenschaft einer dünnen Oxydulschicht zu verdanken hat. — Dann aber zeigt der Umstand, dass man den Platindraht, Fig 340, mit einem geglühten Eisendraht vertauschen kann, dass das durch Glühen gebildete Eisenoxydul ganz wie Platin functionirt, dass durch eine solche Oxydulschicht das Eisen gewissermaassen eine negative galvanische Polarisation erleidet.

In dem Fig. 340 dargestellten Versuch bildet *E* offenbar den positiven Pol einer einfachen Kette; es liess sich also erwarten, dass man Eisen auch dadurch passiv machen kann, dass man es als + Pol einer Volta'schen Säule in eine Säure taucht, die es an und für sich angreifen würde.

Schönbein hat den Versuch wirklich angestellt (Pogg. Annal. Bd. XXXVII, S. 391). An dem + Pol einer aus 15 Wollaston'schen Plattenpaaren bestehenden Säule (einige Becher einer constanten Batterie reichen zu diesem Versuche ebenfalls aus) war ein Eisendraht befestigt, während der negative Pol dieser Säule mit einem Platindraht endigte. Zunächst wurde der negative Platindraht in ein Gefäss mit Salpetersäure von 1·35 specifischem Gewicht eingetaucht und dann die Kette durch Eintauchen des mit dem + Pol der Säule verbundenen Eisendrahtes in dieselbe Säure geschlossen, wie Fig. 342 andeutet; es zeigte sich dieser Eisendraht vollkommen passiv, d. h. er wurde von der Säure in keiner Weise angegriffen und besass nach Abtrennung von der Säule dieselben Eigenschaften, wie ein durch Glühen passiv gemachter Draht.

Fig. 342.



Bleibt der passive Eisendraht fortwährend als + Pol der Kette in der Säure eingetaucht, so zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, dass der in Folge der Wasserzersetzung an demselben ausgeschiedene Sauerstoff sich nicht etwa mit dem Eisen verbindet, sondern frei an demselben aufsteigt, gerade so, als ob der + Pol der Kette durch einen Platindraht gebildet würde. — Die Oxydschicht, welche sich unter den erwähnten Umständen gleich beim Eintauchen des Eisendrahtes in die Flüssigkeit bildet, schützt ihn vollkommen vor fernerer Oxydation.

Zum Gelingen dieses Versuches ist keineswegs Salpetersäure von 1·35 specif. Gewicht nöthig, man kann dieselbe noch über ihr 100faches Volumen mit Wasser verdünnen und immer noch wird der zuletzt in die Flüssigkeit eingetauchte eiserne + Pol der Säule passiv werden, immer noch wird an demselben ausgeschiedener Sauerstoff frei als Gas aufsteigen.

Ganz ähnliche Erscheinungen finden statt, wenn anstatt verdünnter Salpetersäure verdünnte Schwefelsäure oder Phosphorsäure angewendet wird. Soll in dieser Säure der Sauerstoff am positiven Eisendraht sich frei entwickeln, so muss ebenfalls der negative Pol der Säule zuerst in die Flüssigkeit eintauchen, und dann erst der mit dem positiven Pol verbundene Eisendraht in dieselbe eingeführt werden.

Taucht man den positiven eisernen Poldraht vor dem negativen Poldraht in die verdünnte Säure, so wird er angegriffen; ebenso wenig wird der Eisendraht passiv, wenn man ihn abgetrennt vom positiven Pol der

Säule in die verdünnte Säure taucht, mag der negative Pol bereits in dieselbe eingeführt sein oder nicht. Kurz, wenn das Eisen passiv werden soll, so darf es der chemischen Einwirkung der verdünnten Säure nicht vor der Stromwirkung angesetzt sein.

Wendet man statt der verdünnten Säure in diesem Versuche die wässerige Lösung einer Sauerstoffverbindung an, welche nicht merklich chemisch auf das Eisen einwirkt, wie Lösungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen, so wird das Eisen immer passiv, wie man auch die Kette schliessen mag; bei Anwendung von Kalilauge z. B. oder von Salpeterlösung wird das mit dem positiven Pole verbundene Eisen stets passiv, man mag nun den negativen oder positiven Pol zuerst in die Flüssigkeit tauchen. (Pogg. Annal. Bd. XXXVIII, S. 402.)

Darauf gründet sich die Construction von Voltametern, welche durch Platten von Eisenblech gebildet sind, die in Kalilauge eintauchen. In einem solchen Voltameter entwickelt sich der Sauerstoff frei an der positiven Polplatte, ohne das Eisen anzugreifen.

Es kann wohl als gewiss betrachtet werden, dass die Erscheinungen der Passivität des Eisens durch eine Oxydul- oder Oxydschicht vermittelt werden, welche einerseits das Eisen vor dem Angriffe der Säure schützt, andererseits aber in ähnlicher Weise elektromotorisch wirkt wie die Bleihyperoxydschicht, welche eine Platinplatte bekleidet. Eine mit Bleihyperoxyd überzogene Platinplatte verhält sich nämlich gegen eine reine Platinplatte elektro-negativ (Planté's Element).

Wie diese Schicht zusammengesetzt ist, unter welchen Bedingungen sie sich bildet, unter welchen sie sich auflöst, sind freilich Fragen, welche noch keineswegs für alle Fälle genügend beantwortet sind, doch liegt darin kein Grund, die oben angedeutete Basis der Erklärung zu verlassen.

Die Bildung der Oxydulschicht beim Glühen der Eisendrähte ist klar. — Damit sich eine ähnliche Schicht beim Eintauchen in eine Flüssigkeit bilden kann, ist es nöthig, dass dem Eisen die zur Bildung der Oxydschicht nothwendige Menge Sauerstoff zugeführt wird, bevor noch irgend eine andere chemische Einwirkung der Flüssigkeit auf das Eisen stattfinden kann.

Concentrirte Salpetersäure ist so reich an Sauerstoff, dass das blosse Eintauchen eines Eisendrahtes in dieselbe genügt, um die passiv machende Schicht zu bilden.

In Flüssigkeiten, welche weniger sauerstoffreich sind, muss ein galvanischer Strom die Zuführung des Sauerstoffs an das Eisen unterstützen, wenn sich die Oxydhülle bilden soll, und zwar muss die den Strom erregende elektromotorische Kraft um so stärker sein, je weniger leicht ausscheidbaren Sauerstoff die Flüssigkeit enthält. In Salpetersäure von 1·35 specif. Gewicht genügt noch die Combination des Eisendrahtes mit Platin; bei verdünnter Schwefelsäure muss man schon eine Volta'sche Säule in Anwendung bringen.

Dass ein Eisendraht, welcher durch blosses Eintauchen in concentrirte oder durch Combination mit Platin in verdünnte Salpetersäure passiv gemacht worden ist, seinen vollen Metallglanz zeigt, kann keinen Grund abgeben, das Vorhandensein einer dünnen Oxydschicht in diesem Falle in Zweifel zu ziehen, denn diese Schicht muss bei wachsender Dicke die Schattirungen der Newton'schen Farbenringe durchlaufen; so lange also die Schicht nur noch eine den Farben der ersten Ordnung entsprechende Dicke hat, kann sie dem Metallglanz des Drahtes höchstens eine schwache Nüancirung ins Bläuliche oder Gelbliche ertheilen.

In elektromotorischer Beziehung steht die das Eisen passiv machende Schicht dem Platin sehr nahe.

Da das passive Eisen so stark elektronegativ ist, so erklärt sich nun auch leicht, wie es kommt, dass man die Platinplatte der Grove'schen oder den Kohlencylinder der Bunsen'schen Säule durch Eisen ersetzen kann, wie wir in §. 90 gesehen haben, vorausgesetzt, dass es immer in sehr concentrirte Salpetersäure zu stehen kommt.

Auch andere Metalle, namentlich Wismuth, Kupfer und Zinn, zeigen ähnliche Passivitätserscheinungen, nur in weit weniger ausgezeichneter Weise.

Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom; Gesetz von Joule. 116 Nachdem wir nun die wichtigsten Gesetze der Stromstärke kennen gelernt haben, gehen wir zur Betrachtung derjenigen Erscheinungen über, welche der elektrische Strom in den durchströmten Körpern hervorbringt, und zwar wollen wir zuerst seine Wirkungen auf Leiter erster Classe, d. h. auf Metalle untersuchen.

Wenn man einen galvanischen Strom durch einen Metalldraht hindurchleitet, so wird derselbe mehr oder weniger erwärmt. Um sich von dieser Thatsache zu überzeugen und das Verhältniss der Erwärmung zu der Stromstärke zu ermitteln, kann man den Fig. 343 dargestellten Apparat anwenden. In den Hals eines mit möglichst wasserfreiem Weingeist gefüllten Glasgefässes wird ein Kork eingesetzt, in welchem das Rohr eines Thermometers und zwei dicke Kupferdrähte stecken. Die unteren Enden der Kupferdrähte sind durch einen spiralförmig gewundenen dünnen Platindraht verbunden, dessen Enden an die Kupferdrähte angelöthet sind, und welcher ganz in den Weingeist eingetaucht sein muss. Wird nun dieser Platindraht mittelst der beiden Kupferdrähte in den Schliessungsbogen einer Volta'schen Säule eingeschaltet, so wird er erwärmt und giebt alsbald seine Wärme an den Weingeist ab, dessen Temperaturerhöhung man an dem Thermometer ablesen kann.

Fig. 343.



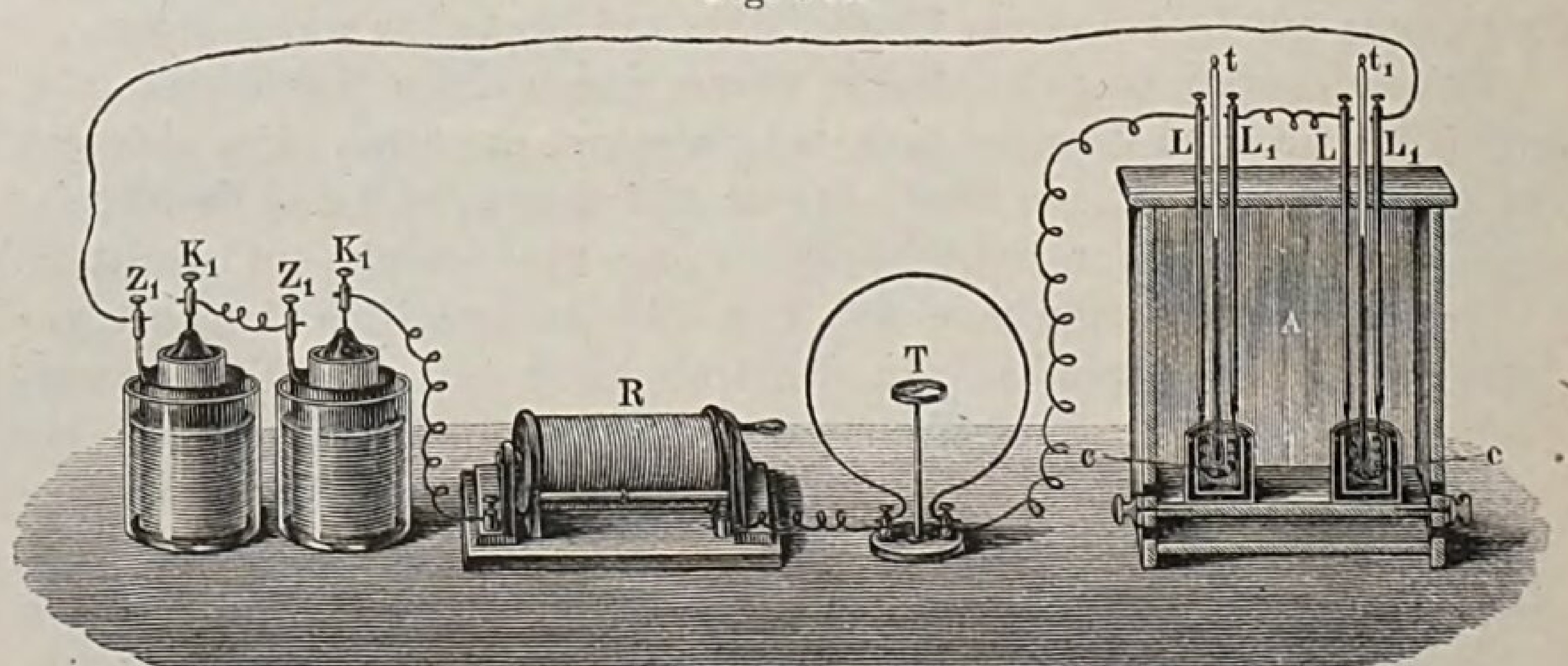
Joule und Lenz haben die Gesetze der Wärmeentwickelung, welche der galvanische Strom in Metalldrähten hervorbringt, näher untersucht, und sind fast zu denselben Resultaten gelangt.

Lenz wandte zu seinen Untersuchungen einen Apparat an, welcher dem in Fig. 343 abgebildeten ähnlich war; derselbe wurde mit einer Tangentenbussole (einer solchen, bei welcher der Strom in vielen Windungen um die Nadel geleitet war, so dass schon verhältnissmässig schwache Ströme einen merklichen Ausschlag gaben) in den Schliessungsbogen einer Daniell'schen Batterie gebracht. — Mittelst des Rheostaten wurde der Strom stets auf einer bestimmten Stärke erhalten; unterdessen wurde beobachtet, welche Zeit erforderlich ist, damit das Thermometer im Weingeist um eine bestimmte Anzahl von Graden steigt. Dabei wurde durch ein Herumdrehen des Apparates in einem kleinen Kreise die Flüssigkeit in eine rotirende Bewegung gebracht, wodurch eine gleichmässige Vertheilung der Temperatur im Inneren der Flüssigkeit erzielt wurde.

Um die Fehler zu vermeiden, welche durch den Wärmeverlust an die Umgebung veranlasst werden, wurde der Weingeist unter die Temperatur der Umgebung erkaltet in die Flasche eingefüllt, und der Versuch geschlossen, als seine Temperatur gerade um eben so viele Grade über die Lufttemperatur gestiegen war, als sie anfänglich darunter stand. (Rumford's Kunstgriff Bd. II, 2, §. 59.)

Um die Joule'schen Versuche als Vorlesungsexperimente zu wiederholen, kann man sich eines Apparates bedienen, dessen Anordnung aus Fig. 344 ersichtlich ist. $Z_1 K_1$ ist eine Batterie von mehreren Elementen,

Fig. 344.



R ein Rheostat, T eine Tangentenbussole (schematisch gezeichnet), A jener calorimetrische Apparat, welchen wir im Bande II, 2, S. 312 bereits beschrieben haben, im Wesentlichen bestehend aus zwei gleichen kleinen Calorimetergefässen C, C' mit Thermometern t, t' und Zuleitungsdrähten L, L_1, L', L'_1.

Die Calorimeter werden mit gleichen Mengen Weingeist oder Terpentinöl gefüllt. Die unteren Enden der Zuleitungsdrähte werden inner-

halb der Calorimeterflüssigkeit durch dünne spiralförmig gewundene Platindrähte verbunden. Der Strom geht durch den anfangs auf Null gestellten Rheostaten, dann durch den Ring der Tangentenbussole, hierauf durch die dicken Zuleitungen und durch die beiden Spiralen, endlich durch D zum andern Pole zurück.

Durch einen ersten Versuch ermitteln wir nun den Einfluss der Grösse des Widerstandes eines Leiterstückes auf dessen Erwärmung durch den Strom. Zu diesem Zwecke wählen wir zu den Platinspiralen zwei Drahtstücke, deren Widerstände r' und r'' wir absichtlich ungleich gross machen. Nehmen wir beide Drähte gleich lang, aber ungleich dick, so können wir durch Wägung das Verhältniss ihrer Querschnitte finden, welches zugleich das umgekehrte Verhältniss ihrer Widerstände ist. Wir lesen die Anfangstemperatur an t und t' ab, schliessen den Strom eine gezählte Anzahl von Minuten hindurch und beobachten nachher die Endtemperaturen.

Nach den im Band II, 2, S. 313 angegebenen Regeln berechnen wir aus diesen Daten die Wärmemengen Q' und Q'', welche in den beiden Spiralen frei wurden und finden, wenn der Versuch gut geleitet wurde:

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{r'}{r''} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Bei gleicher Stromstärke verhalten sich daher die in verschiedenen Leiterstücken entwickelten Wärmemengen wie deren Widerstände.

Bei einem zweiten Versuche ermitteln wir den Einfluss der Stromstärke bei unverändertem Widerstande. Zu diesem Zwecke schalten wir das zweite Calorimeter C' ganz aus und bestimmen dann wie früher die in dem Calorimeter C in einer gewissen Zeit entwickelte Wärmemenge Q_1 und gleichzeitig an der Tangentenbussole T die Stromstärke J_1. Durch Einschaltung von Widerstand mittelst des Rheostaten R reduciren wir sodann die Stromstärke auf den geringeren Betrag J_2 und bestimmen neuerdings die in derselben Zeit im selben Calorimeter entwickelte Wärmemenge Q_2. Bei gut geleitetem Versuche werden wir dann finden, dass die Proportion gilt:

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{J_1^2}{J_2^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Bei gleichem Widerstande verhalten sich die in einem Leiterstück entwickelten Wärmemengen wie die Quadrate der Stromstärken.

Durch einen dritten Versuch können wir uns überzeugen, dass es ganz gleichgiltig ist, ob wir die beabsichtigte Stromstärke durch mehrere oder wenigere Elemente, also beim geringeren oder grösseren eingeschalteten Widerstande R herstellen, sowie es auch bei gleicher Stromstärke gleichgiltig ist, ob wir dieselbe mittelst Daniell'scher oder Bunsen'scher Elemente erreichen. Die Wärmeentwickelung in

einem Leiterstücke ist also, so lange sein Widerstand und die Stromstärke dieselben bleiben, ganz unabhängig von der elektromotorischen Kraft der Stromquelle.

Die beiden Proportionen 1) und 2) können wir in folgende Gleichung zusammenfassen, welche das Gesetz von Joule genannt wird:

$$Q = c\,r\,J^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Die in einem Leiterstücke durch den Strom entwickelte Wärmemenge ist proportional dem Widerstande desselben und dem Quadrate der Stromstärke.

Die Wärmeentwickelung ist natürlich auch der Zeitdauer des Stromes proportional. Das Q der Gleichung 3) bedeutet demnach die in der Zeiteinheit (Secunde oder Minute) entwickelte Wärmemenge und wird in Calorien angegeben. Die Bedeutung der Constanten c ist mithin folgende: c ist jene Wärmemenge, welche in der Zeit Eins in einem Leiterstücke vom Widerstande Eins entwickelt wird, wenn derselbe von einem Strom von der Stärke Eins durchflossen wird. Der numerische Werth dieser Constanten hängt natürlich von den Einheiten ab, nach welchen Wärme, Zeit, Widerstand und Stromstärke gemessen werden.

Wählt man als Zeiteinheit die Minute, als Wärmeeinheit die Grammcalorie, als Widerstandseinheit die Siemens'sche, als Stromeinheit die Jacobi'sche (1 cbcm Knallgas per Minute), so ist, wie wir im §. 135 zeigen werden,

$$c = 0{\cdot}13.$$

Wir haben bisher die Erwärmung eines Leiterstückes untersucht, in welchem keine elektromotorische Kraft ihren Sitz hat, und welches durch den Strom keinerlei chemische oder mechanische Veränderungen erleidet. Wir müssen zur Giltigkeit des Joule'schen Gesetzes noch ergänzend die Bedingung hinzufügen, dass keinerlei elektrische Wirkung auf benachbarte Leiter oder Magnete, kurz keinerlei Arbeitsleistung nach Aussen stattfinde, so dass als einzige Stromwirkung die Erwärmung auftritt.

Das Joule'sche Gesetz lässt sich zunächst, wie Joule selbst und Becquerel gezeigt haben, auf solche flüssige Leiter anwenden, bei welchen zwar chemische Vorgänge durch den Strom eingeleitet werden, die aber durch gleichzeitige entgegengesetzte Vorgänge wieder compensirt werden. Solche Leiter sind Lösungen von Metallsalzen zwischen Platten desselben Metalls, z. B. Kupfervitriollösung zwischen Kupferplatten. An der Eintrittsstelle des positiven Stromes wird das Kupfer gelöst, an der Austrittsstelle wieder gefällt. Die damit verbundenen entgegengesetzten Wärmeeffecte compensiren sich und es kommt daher diejenige Erwärmung, welche dem Joule'schen Gesetze entspricht, zur unveränderten Geltung.

Endlich gilt das Joule'sche Gesetz auch für die Flüssigkeiten der Elemente selbst (Joule, Favre). Mit der Wärmeentwickelung eines

geschlossenen Elementes verhält es sich überhaupt, wie wir im §. 134 eingehender zeigen werden, folgendermaassen. Die Quelle der Wärme ist der Verbrauch chemischer Energie durch die chemischen Processe in der Kette, unter welchen die Oxydation des Zinks die Hauptrolle spielt. Ist kein Schliessungskreis ausserhalb des Elementes vorhanden, sondern sind die Metalle innerhalb des Elementes in Contact, so bleibt alle entwickelte Wärme im Elemente. Ist dagegen ein äusserer Stromkreis da, so wird ein Theil der Wärme durch den Strom auf den Schliessungskreis entführt. Es theilt sich dann die ganze entwickelte Wärmemenge im Verhältniss der Widerstände auf die einzelnen Theile des ganzen Stromkreises. Je grösser demnach der Widerstand des schliessenden Leiters ist, ein desto grösserer Bruchtheil der Wärme kommt in diesem zur Entwicklung.

Es sei w der innere, r der äussere Widerstand einer Kette, J die Stromstärke, Q_1 die innerhalb, Q_2 die ausserhalb des Elementes entwickelte Wärmemenge, so ist

$$Q_1 = c\,w\,J^2$$
$$Q_2 = c\,r\,J^2,$$

mithin die Gesammtwärmeentwickelung im ganzen Stromkreise inclusive Element:

$$Q = Q_1 + Q_2 = c\,(w + r)\,J^2.$$

Nennen wir den Gesammtwiderstand R, so ist also

$$Q = c\,R\,J^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

Das Joule'sche Gesetz gilt also nicht bloss für Leiterstücke, sondern für den ganzen Stromkreis.

Da nach dem Ohm'schen Gesetze $R\,J = E =$ der elektromotorischen Kraft, so folgt aus 4) auch

$$Q = c\,E\,J \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 5)$$

oder endlich

$$Q = c\,\frac{E^2}{R} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 6)$$

Die Gleichungen 4), 5) und 6) sind verschiedene Formen des Joule'schen Gesetzes bezogen auf den ganzen Stromkreis.

Seite 169 haben wir als Resultat der Untersuchungen von Riess über die erwärmende Wirkung des Entladungsschlages der Leydener Flasche den Ausdruck erhalten:

$$h = n\,\frac{q^2}{s} = n\,\frac{q}{s}\,q,$$

worin h die Erwärmung, n eine Constante, q die Elektricitätsmenge, s die Batterieoberfläche, mithin $\frac{q}{s}$ die Dichtigkeit der Flaschenladung vorstellt. So wie nun die Stromstärke J der Menge der durchfliessenden Elektricität q proportional ist, so ist auch die elektromo-

torische Kraft E der Dichte der Elektricität an den Polen proportional, mithin stimmen die beiden Ausdrücke wesentlich überein. Bei Anwendung gleicher Maasseinheiten muss auch der Werth der Constanten n. übereinstimmen.

Die Gleichung 5) scheint auf den ersten Anblick in Widerspruch zu stehen mit dem Ergebniss des oben erwähnten dritten Versuches, nach welchem die elektromotorische Kraft ohne Einfluss auf die Erwärmung ist, während aus 5) folgt, dass bei gleicher Stromstärke J die Erwärmung proportional der elektromotorischen Kraft E sei. Der Widerspruch löst sich einfach, wenn man überlegt, dass es sich beim erwähnten Versuche um die Erwärmung eines gegebenen Leiterstückes von constantem Widerstande, dagegen beim Satze 5) um die Erwärmung des ganzen Stromkreises handelt, dessen Widerstand, um die gleiche Stromstärke J zu liefern, in demselben Verhältnisse geändert werden muss, wie die elektromotorische Kraft sich ändert. Ein Beispiel wird dies noch klarer machen. Nehmen wir ein Daniell'sches Element mit der elektromotorischen Kraft $E = 12$ und ein Bunsen'sches mit $E' = 20$. Schliessen wir ersteres durch einen Draht von solcher Länge, dass der Gesammtwiderstand $R = 12$ wird, so herrscht in dem Drahte die Stromstärke

$$J = \frac{E}{R} = \frac{12}{12} = 1.$$

Ein Stück dieses Drahtes von solcher Länge, dass dessen Widerstand $= 1$ ist, entwickelt daher die Wärme c, der ganze Schliessungskreis dagegen die Wärme $Q = 12\,c$. Um bei dem Bunsen'schen Elemente ebenfalls die Stromstärke $= 1$ zu erhalten, müssen wir seinem Schliessungskreise den Gesammtwiderstand $R' = 20$ geben. Ein Stück des Schliessungsdrahtes vom Widerstande $= 1$ entwickelt wiederum die Wärme c, der ganze Schliessungskreis aber $Q' = 20\,c$.

Man kann die Gleichung 5) ebenfalls auf ein Leiterstück statt auf den Gesammtschliessungskreis in Anwendung bringen, wenn man dem E die entsprechende Bedeutung beilegt. Die elektromotorische Kraft E ist identisch mit der Potentialdifferenz der ganzen Kette, setzen wir statt dessen die Potentialdifferenz an den Enden des betrachteten Leiterstückes e, so gilt der Satz 5) auch für die Erwärmung dieses Stückes. Denken wir uns z. B. den ganzen 12 Widerstandseinheiten betragenden Stromkreis des Daniell'schen Elementes in 12 Theile gleichen Widerstandes, also vom Widerstande $= 1$ eingetheilt, so ist die Potentialdifferenz an den benachbarten Endpunkten dieser Theile ebenfalls $= 1$, mithin führt dann auch der Satz 5) für ein solches Leiterstück zur Erwärmung $= c$. Eine Anzahl ε solcher Stücke zusammen hätte die Potentialdifferenz $= \varepsilon$, also eine Wärmeentwickelung $c\,\varepsilon$ und wäre die Stromstärke nicht $= 1$, sondern $= J$, so wäre die Wärmeentwickelung $= c\,\varepsilon J$.

Schliesslich wollen wir noch eine Aufgabe lösen, welche praktische Anwendung finden kann, wenn es sich darum handelt, den elektrischen Strom als Wärmequelle so gut als möglich auszunutzen.

Es sei ein Element oder eine Batterie von bestimmter elektromotorischer Kraft E und vom inneren Widerstande W gegeben. Bei W seien die etwaigen Poldrähte bereits mit einbegriffen. Es soll nun derjenige Widerstand R eines Leiters berechnet werden, welcher beim Einschalten in den Schliessungskreis das Maximum von Wärmeentwickelung erfährt. Nach Joule's Gesetz ist diese Wärmeentwickelung in dem Widerstande R gegeben durch

$$Q = c R J^2 = c R \frac{E^2}{(W + R)^2},$$

dieser Ausdruck erhält den grössten Werth, wenn $R = W$, nämlich

$$Q = \frac{c E^2}{4 W}.$$

Will man also in einem Drahtstücke durch eine gegebene Batterie die grösstmögliche Wärmemenge entwickeln, so mache man den Widerstand des Drahtstückes ebenso gross, als der Widerstand in der Batterie ist.

Macht man den Widerstand des Drahtstückes kleiner als den der Batterie, so wird allerdings die Stromstärke und die Gesammtwärmeentwickelung grösser, aber es trifft davon ein kleinerer Bruchtheil auf das Drahtstück und der grössere Theil auf die Batterie. Macht man dagegen den Widerstand des Drahtstückes grösser als den der Batterie, so erhält er allerdings einen grösseren Bruchtheil der Gesammtwärme als die Batterie, aber diese Gesammtwärme ist wegen der geringeren Stromstärke kleiner als im günstigsten Falle.

Ist umgekehrt das Drahtstück mit bestimmtem Widerstande und die Anzahl der Elemente gegeben, so wird man, um das Maximum der Erwärmung zu erzielen, die Elemente so verbinden, dass der Gesammtwiderstand der Batterie dem des Drahtstückes am nächsten kommt; also hinter einander bei sehr grossem, neben einander bei sehr kleinem Widerstande des Drahtstückes.

Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom. 117 Im vorigen Paragraphen war stets nur von der Wärmeentwickelung, nicht aber von der Temperaturerhöhung des Schliessungskreises die Rede. Wenn die Temperatur der metallischen Leiter steigt, so vergrössert sich ihr Widerstand und hierdurch ändert sich auch die Grösse der Wärmeentwickelung. Von dieser Aenderung wollen wir aber vorläufig absehen. Offenbar steigt die Temperatur der Drähte so lange, bis sie entweder abschmelzen, oder bis die Wärmeverluste nach Aussen der Wärmezufuhr durch den Strom das Gleichgewicht zu halten beginnt. Den Wärmeverlust per Zeiteinheit V kann man bei einem cylindrischen

Drahte von der Länge l und der Dicke d annäherungsweise proportional setzen einmal der Oberfläche $\pi d l$, dann dem Emissionsvermögen ε, und dem Temperaturüberschusse über die Umgebung t. Wir setzen also

$$V = k \,.\, \pi \,.\, d \,.\, l \,.\, \varepsilon \,.\, t,$$

wo k eine Constante ist. Für die zugeführte Wärmemenge gilt nach dem Joule'schen Gesetze:

$$Q = c\, r\, J^2.$$

Die Temperatur wird also so lange steigen, bis $V = Q$, also bis

$$k \,.\, \pi \,.\, d \,.\, l\, \varepsilon \,.\, t = c\, r\, J^2$$

geworden ist. Die constante Temperatur t berechnet sich demnach:

$$t = \frac{c}{k} \cdot \frac{r J^2}{\pi d \,.\, l \varepsilon} \cdot$$

Nun ist der Widerstand r, wenn wir mit s den specifischen Leitungswiderstand bezeichnen, gegeben durch

$$r = \frac{4 l}{d^2 \pi} \cdot$$

Setzt man diesen Werth oben ein, so folgt:

$$t = \frac{4 c}{k \pi^2} \cdot \frac{s J^2}{\varepsilon d^2} = K \cdot \frac{J^2}{\varepsilon d^3} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

indem wir die neue Constante K einführen.

Die Theorie verlangt also, dass die Temperaturerhöhung der Drähte sei:

1. proportional dem specifischen Leitungswiderstande,
2. proportional dem Quadrat der Stromstärke,
3. verkehrt proportional dem Emissionsvermögen;
4. verkehrt proportional dem Cubus der Drahtdicke,
5. unabhängig von der Drahtlänge, vorausgesetzt, dass die Stromstärke dieselbe sei.

Da nun die Temperatur, bei welcher die Körper zu glühen beginnen, für alle dieselbe zu sein scheint, so ergeben sich hieraus über das Glühen von Drähten folgende qualitative Versuche.

Aus 1. folgt, dass in einem Schliessungsbogen, der aus lauter gleich dicken aber aus Metallen ungleichen specifischen Leitungswiderstandes hergestellten Drahtstücken zusammengesetzt ist, die schlechter leitenden Stücke bereits erglühen können, während die besser leitenden noch dunkel bleiben.

Leitet man z. B. einen genügend starken Strom durch eine Kette, Fig. 345, welche abwechselnd aus gleich dicken Platin- und Silberdrähten besteht, so werden bei einer gewissen Stromstärke die Platindrähte erglühen, dagegen die Silberdrähte dunkel bleiben. Aus 4. folgt ein ähnlicher Versuch, bei welchem die Kette aus abwechselnd ungleichen dicken

Platindrähten besteht, wobei dann die dünnen glühen, die dicken dunkel bleiben.

Bezüglich 2. und 5. mag folgender Versuch gemacht werden. Man spannt von einem längeren ziemlich dünnen Platindrahte ein mehrere

Fig. 346.

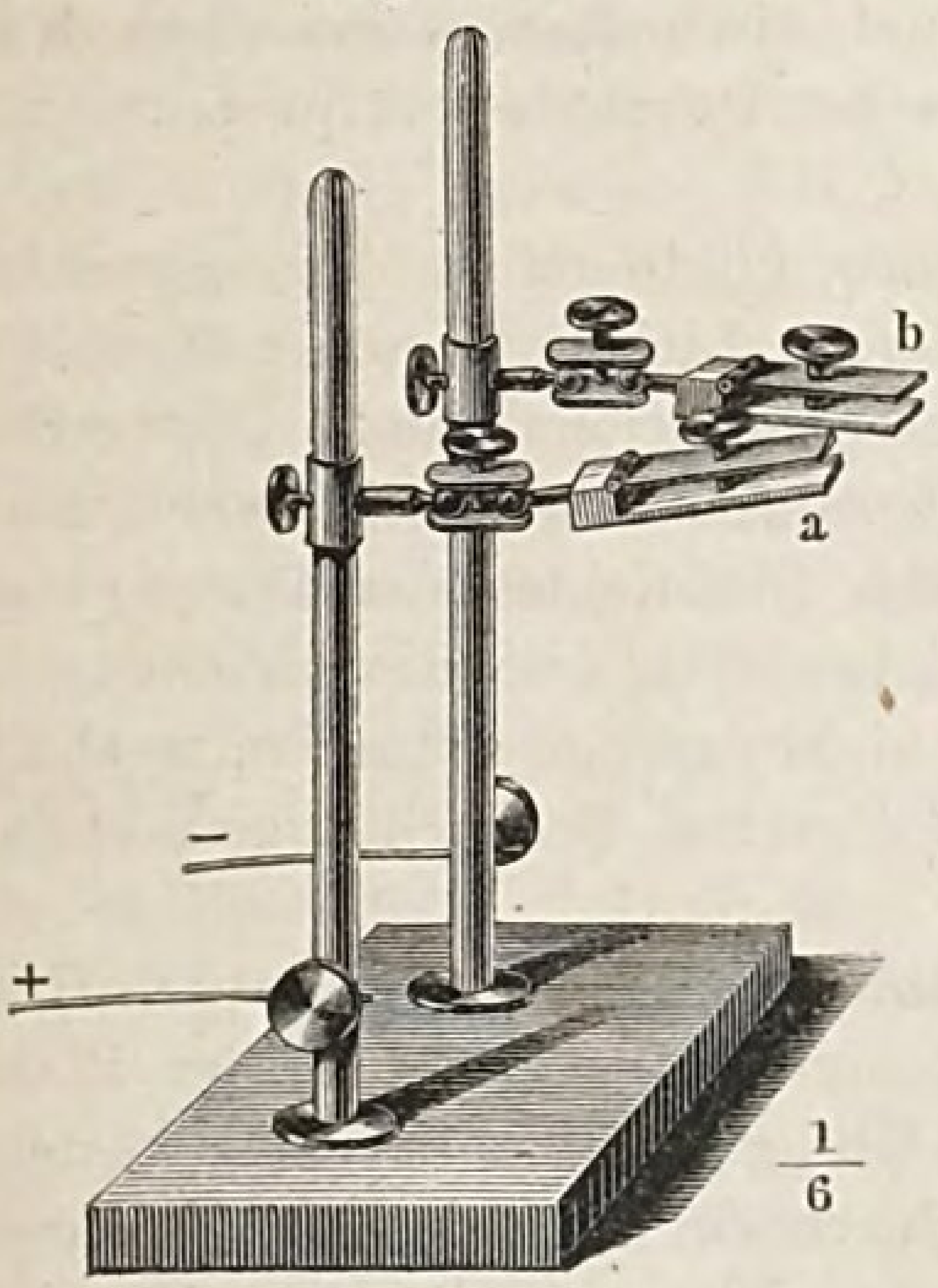
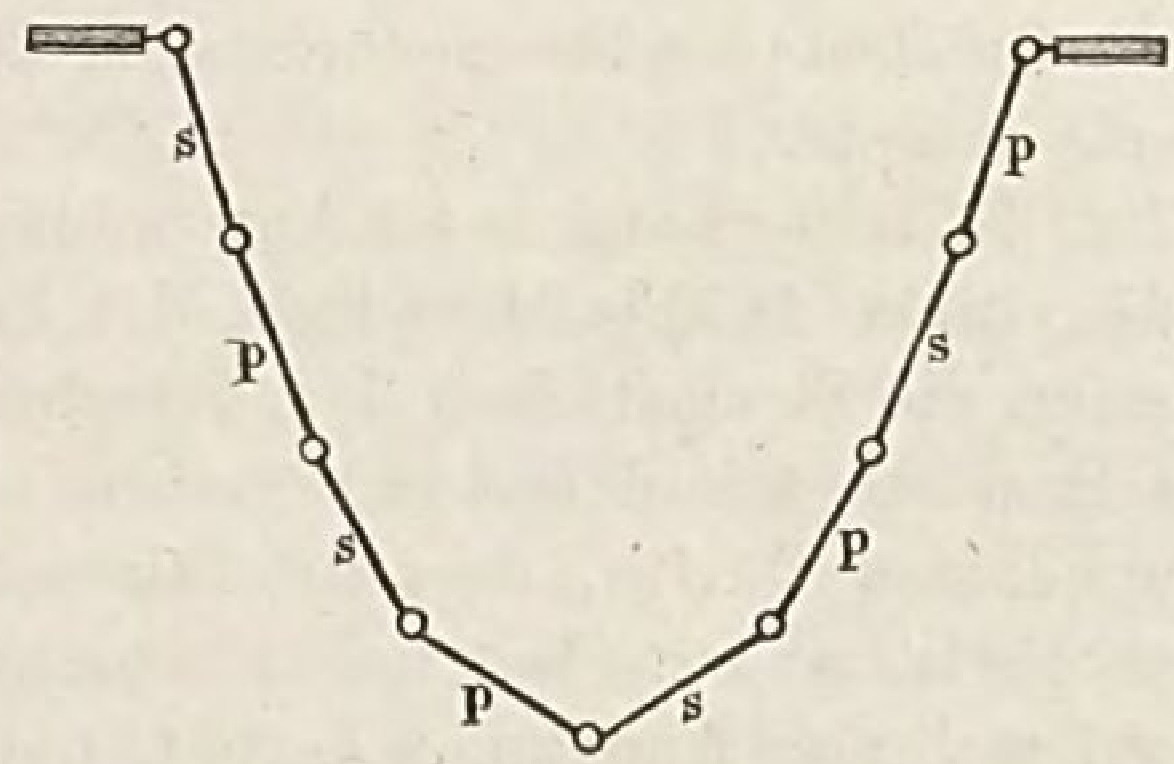


Fig. 345.



Centimeter langes Stück zwischen die Klemmen *a* und *b* der in Fig. 346 abgebildeten Polhalter und schaltet in den Schliessungskreis ausserdem noch eine Tangentenbussole und einen Rheostaten. Der letztere muss aber aus dicken, gut leitenden Drähten hergestellt sein, damit er nicht ebenfalls ins Glühen gerathe und hierdurch verdorben werde. Man regulirt nun den Strom so, dass der Draht eben glüht. Hierauf verlängert man den Draht zwischen *a* und *b*. Nun hört derselbe zu glühen auf, weil durch den vermehrten Widerstand die Stromstärke gesunken ist. Schaltet man aber jetzt am Rheostat so viel Widerstand aus, dass die Stromstärke die frühere wird, so erfolgt das Glühen ebenfalls wie früher. Bezüglich Punkt 3. verweisen wir auf das Band II, 2, S. 541, Fig. 277 beschriebene Experiment, durch welches gezeigt wird, dass ein in Luft befindlicher galvanisch glühender Platindraht in einer Umgebung von Wasserstoff zu glühen aufhört, weil dieses Gas mehr Wärme wegführt als Luft.

Den Einfluss der Temperatur des Drahtes auf seinen Leitungswiderstand und den daraus folgenden indirecten Einfluss auf die Erwärmung kann man auf folgende Weise demonstriren. Man bringe eine Platindrahtspirale durch einen Strom zum mässigen Rothglühen. Taucht man hierauf die glühende Spirale zur Hälfte in kaltes Wasser, so kühlt sich diese Hälfte ab, während der nicht eintauchende Theil viel lebhafter zu glühen beginnt.

Durch das Abkühlen der Hälfte des Drahtes verringert sich dessen Widerstand, folglich steigt die Stromstärke und in Folge davon die Wärmeentwickelung im nicht abgekühlten Theile des Drahtes.

Quantitative experimentelle Prüfungen des unter 1) mitgetheilten

Salzes an glühenden Drähten sind von J. Müller und mit grösserer Genauigkeit von Zöllner angestellt worden. J. Müller kam durch seine Versuche, bei welchen freilich die Stärke des Glühlichtes nur geschätzt wurde, zu dem mit der Gleichung 1) im Widerspruch stehenden Resultate, dass, um denselben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromstärke dem Durchmesser proportional sein müsse, während nach 1) das Quadrat der Stromstärke dem Cubus des Durchmessers proportional sein müsste.

Zöllner fand unter Anwendung seines Photometers, dass verschieden dicke Drähte desselben Metalls gleiche Lichtmengen ausstrahlen, wenn die Stromstärken dem Durchmesser proportional sind. Dieses Gesetz würde mit dem Joule'schen in Uebereinstimmung sein, wenn man annehmen dürfte, dass die Intensität des Glühlichtes der Temperatur proportional sei. Wir haben schon oben bemerkt, dass die Gleichung 1) auf mehreren Annahmen beruht, welche nicht strenge zutreffen, weshalb es nicht zu verwundern ist, wenn die directen Beobachtungen etwas abweichende Resultate liefern.

J. Müller hat deshalb den Gegenstand später (Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg VI) nochmals aufgenommen, und unter Annahme der Richtigkeit des Gesetzes, dass bei gleichem Glühgrad die Stromstärke dem Durchmesser proportional sein müsse, durch ein graphisches Verfahren eine Anzahl Folgerungen gezogen, unter welchen insbesondere jene interessiren, dass 1) bei gegebenen Drahtlängen für eine bestimmte Drahtdicke ein Maximum des Werthes $\frac{J}{d}$ erhalten wird, und dass zweitens, wenn ein Draht von gegebener Länge glühen soll, die Dicke desselben zwischen zwei bestimmten Gränzwerthen liegen muss.

A. v. Waltenhofen hat dann (Sitzber. d. Königl. böhm. Ges. d. W. in Prag 1874) diese nämlichen und noch einige weitere Folgerungen auf mathematischem Wege entwickelt. Es ergab sich dabei, dass das Maximum des Werthes $\frac{J}{d}$ jener Drahtdicke entspricht, welche den Widerstand des glühenden Drahtes dem halben Widerstande des ganzen Schliessungskreises gleich macht, dass ferner die beiden Werthe der Drahtdicken, welche demselben Werth von $\frac{J}{d}$ entsprechen, bei einer gewissen Länge des Drahtes in Einen zusammenfallen und bei Ueberschreitung dieser Länge derselbe Werth von $\frac{J}{d}$ überhaupt nicht mehr (unter sonst gleichen Umständen) erreicht werden kann.

Das Erglühen von Metalldrähten durch den elektrischen Strom findet praktische Anwendung in der Sprengtechnik, in der Chirurgie und im Beleuchtungswesen. Bei der erstgenannten Verwendung werden in jede Patrone zwei dicke isolirte Zuleitungsdrähte eingeführt, welche durch einen sehr dünnen, kurzen Stahl- oder Platin-

draht leitend verbunden sind; der letztere ist direct vom Schiesspulver oder einer leicht entzündlichen Substanz umgeben, welche die Entzündung des Sprengmaterials vermittelt.

In der Chirurgie verwendet man anstatt des Glüheisens mit Vortheil eine Schlinge aus Platindraht, welche in kaltem Zustande applicirt und dann erst durch Druck auf eine Contactvorrichtung zum Glühen gebracht wird (galvano-kaustische Schlinge), oder man verwendet den Platindraht in isolirten Windungen auf einen Porcellanstift gewickelt (Porcellanbrenner). Endlich bedient man sich des weissglühenden Platindrahtes innerhalb einer schützenden gläsernen Hülle als Erleuchtungsvorrichtung im Inneren von Körperhöhlen.

Zur Beleuchtung im Grossen mittelst galvanisch glühender Drähte oder Kohlenstücke dienen die sogenannten elektrischen Glühlichtlampen, unter denen die von Regnier, Wiedemann und von Marcus auf dem Princip beruhen, dass ein dünnes Kohlenstäbchen gegen ein grösseres Kohlenstück angedrückt und an der Berührungsstelle beider durch den Strom zum Glühen gebracht wird. Lontin's Glühlampe beruht auf der Anwendung einer galvanisch glühenden Platinspirale, Edison's Lampen auf demselben Principe, wobei theils Platindraht, theils sehr dünne Bügel aus Papierkohle in luftleerem Raume als glühende Körper benutzt werden. Die nach dem besprochenen Principe construirten elektrischen Lampen stehen an Leistungsfähigkeit vor denjenigen zurück, die auf der Erzeugung des Lichtbogens zwischen abstehenden Kohlenspitzen beruhen. Wir werden die letzteren in einem der nächsten Capitel kennen lernen.

Der galvanische Funke. Beim Oeffnen und unter gewissen 118
Umständen auch beim Schliessen eines Stromkreises beobachtet man an der Unterbrechungsstelle eine funkenartige Erscheinung. Um diesen Funken recht schön zu sehen, genügt ein einziges Plattenpaar nicht, es sei denn, dass man eine Magnetisirungsspirale, wie wir sie im nächsten Capitel werden kennen lernen, in den Schliessungsbogen eingeschaltet habe. Diese Verstärkung des Funkens rührt von einer Inductionswirkung her, die erst später besprochen werden kann. Betrachten wir zunächst den Funken, wie ihn etwa eine Bunsen'sche Säule von 6 bis 10 Bechern oder irgend eine andere dieser äquivalente Säule giebt.

Sehr schön beobachtet man die Funkenerscheinung, wenn man eine Feile an dem einen Pole der Säule befestigt und einen mit dem anderen Pole verbundenen Eisendraht darüber hinführt. Bei dem hierbei rasch auf einander folgenden Oeffnen und Wiederschliessen der Kette entsteht ein lebhaftes Funkensprühen, welches offenbar von einer Verbrennung der Eisentheilchen herrührt, die glühend aus einander fahren.

Anders erscheint der galvanische Funke, wenn das Schliessen und Oeffnen der Kette durch Eintauchen und Herausziehen des einen Poldrahtes in und aus Quecksilber geschieht, welches mit dem anderen Pole

in leitender Verbindung steht. Hier ist kein Umhersprühen zu beobachten. Man sieht, wenn man den einen Poldraht in das Quecksilber eintaucht, namentlich aber, wenn man ihn herausnimmt, einen ganz abgerundeten, lebhaft weiss glänzenden Funken, der von einem klatschartigen Geräusch begleitet ist. Auch in dieser Form ist höchst wahrscheinlich die Lichterscheinung von einer secundären Verbrennung, und zwar hier von einer Verbrennung des Quecksilbers begleitet.

Ein Ueberspringen von Funken in Distanz, wie wir es bei der Reibungselektricität kennen gelernt haben, findet bei den gewöhnlichen galvanischen Säulen nicht statt. Jacobi hat sich durch genaue Messungen überzeugt, dass die Pole einer Säule von 12 Grove'schen Plattenpaaren bis auf 0·0013 mm genähert werden konnten, ohne dass ein Funke übersprang. Ein solches Ueberspringen erhält man erst, wenn man die Zahl der Plattenpaare weit über das gewöhnliche vermehrt. Gassiot hat eine Säule construirt, welche aus 3520 Bechern bestand, deren jeder einen Zinkstab und einen Kupfercylinder enthielt. Zur Ladung diente Regenwasser. Die 3520 Glasbecher waren auf 44 eichene Bretter vertheilt, von denen immer 11 ein Gestell, einem Becherrepositorium ähnlich und von vier starken Ständern getragen, bildeten. Besondere Sorgfalt war auf die Isolirung verwendet worden; die Becher waren gefirnisst und standen auf Glasplatten, die ebenso wie die Bretter mit einem Firnissüberzuge versehen waren.

Es liess sich wohl erwarten, dass diese Batterie im ungeschlossenen Zustande bedeutende Spannungserscheinungen hervorbringen musste; und in der That divergirten die Pendel eines Goldblattelektroskops schon, wenn man es dem einen Pole auf 5 bis 7 cm näherte. Sobald die Kette geschlossen wurde, verschwanden alle Zeichen von Spannung. Als die Pole der Batterie auf 0·5 mm genähert wurden, schlugen unausgesetzt Funken zwischen ihnen über. In einem Falle dauerte dies Phänomen ununterbrochen Tag und Nacht fünf Wochen lang. Mehrere Monate nach ihrer Errichtung zeigte die Batterie noch keine Abnahme ihrer Kraft.

Neuere Versuche über den elektrischen Funken haben Warren de la Rue und H. W. Müller (*Nature XVIII*, *XX*) mit der im §. 91 erwähnten Batterie von 11000 Elementen angestellt.

Wir werden später noch einmal auf die Natur des galvanischen Funkens zurückkommen.

119 **Der galvanische Lichtbogen.** Oeffnet man einen Stromkreis, der von einer Säule von ungefähr 30 oder mehr Bunsen'schen Elementen gebildet ist, und sorgt dafür, dass die Endstücke des Leiters an der Unterbrechungsstelle nicht zu weit von einander entfernt werden, so gelingt es, den galvanischen Funken als dauernden Lichtbogen zu erhalten. Die Distanz, bis auf welche man, ohne den Lichtbogen zu erlöschen, die Enden entfernen darf, hängt von der Stärke der Batterie und von der Natur der Endstücke ab.

Als H. Davy zugespitzte Kohlenstücke als Pole einer Säule von 2000 Plattenpaaren (Zink und Kupfer) anwandte, bildete sich bei dem eben angegebenen Verfahren zwischen den beiden Kohlenspitzen, welche selbst ein blendendes Licht ausstrahlten, ein nach oben gewölbter Flammenbogen, welcher erst erlosch, als die Polstücke 7 cm weit von einander entfernt worden waren.

Obgleich die von Davy angewandten Kohlen möglichst feste und dichte Holzkohlen waren, so waren sie bei diesem Versuche doch einem raschen Verbrennen ausgesetzt; um diese Verbrennung zu verhindern, schloss er sie in einen Glasballon ein, welcher luftleer gemacht werden konnte.

Mit grossem Vortheile lassen sich nun die zu dem Davy'schen Versuche verwendeten Holzkohlen durch zugespitzte Stäbchen ersetzen, welche aus der Bunsen'schen Kohlenmasse oder aus Retortenkohle verfertigt sind. Wegen ihrer grösseren Dichtigkeit leitet diese Masse den Strom besser als Holzkohle und es genügt deshalb zur Anstellung des Versuches schon eine geringere Anzahl von Plattenpaaren; dann aber sind solche Bunsen'sche Kohlenstücke weit weniger der Verbrennung ausgesetzt, weshalb sie die Anwendung des luftleeren Raumes entbehrlich machen.

Zu Versuchen über den Flammenbogen kann man den schon auf S. 377, Fig. 346, beschriebenen Polhalter benutzen, indem man die beiden zugespitzten Kohlenstücke in entsprechender Stellung in die Zangen a und b einklemmt. Man kann dieselben leicht mit einander in Berührung bringen und nachher beliebig weit wieder von einander entfernen. Der Abstand, bis auf welchen man die Kohlenspitzen von einander entfernen kann, ohne dass der Strom unterbrochen wird und der Flammenbogen verlischt, darf um so grösser gemacht werden, je mehr die elektromotorische Kraft der Säule wächst und je weniger fest die Kohlenmasse der Polspitzen ist.

Bei Anwendung einer Säule von 6 bis 10 Bunsen'schen Bechern erscheint zwischen den Kohlenspitzen kaum ein glänzendes Sternchen; mit einer Säule von 30 bis 50 solcher Becher erhält man aber schon ein Licht, welches das Drummond'sche Kalklicht weit hinter sich zurücklässt.

Um den Strom zwischen den Kohlenspitzen einzuleiten, ist es nicht durchaus nothwendig, die Kohlenpole erst mit einander in Berührung zu bringen, es kann auch dadurch geschehen, dass man zwischen den beiden in gehörige Entfernung gebrachten Kohlenspitzen einen elektrischen Funken überschlagen lässt.

Das Licht an den Kohlenspitzen ist viel zu blendend, als dass man die Details der Erscheinung übersehen könnte; will man diese näher untersuchen, so ist es am zweckmässigsten, den Flammenbogen durch eine Linse von passender Brennweite oder ein entsprechendes Linsensystem auf einen Schirm zu projiciren. Ganz vorzüglich eignet sich

zu diesem Zwecke die in Bd. II, 1, S. 388 beschriebene Dubosq'sche Lampe.

Fig. 1 auf Tab. I stellt den auf die angegebene Weise projicirten galvanischen Lichtbogen dar. Die Lichtstärke des Lichtbogens selbst ist nicht bedeutend, dagegen strahlen die Enden der beiden Kohlenspitzen, auf welchen der Lichtbogen gleichsam aufsitzt, ein blendendes Licht aus. Bei aufmerksamer Betrachtung des Phänomens fällt aber sogleich ein auffallender Unterschied zwischen den beiden Polspitzen auf. Der negative Pol erscheint mehr zugespitzt, und an dieser Spitze ist die Lichtentwickelung am energischsten, während das Ende des positiven Pols mehr oder weniger ausgehöhlt erscheint. Während die negative Polspitze längere Zeit fast unverändert erscheint, nimmt die Masse des positiven Pols rasch ab und ist dabei ein Ueberwandern materieller Theilchen vom positiven zum negativen Pole nicht zu verkennen.

Die Wärmeentwickelung ist übrigens an den beiden Polen sehr ungleich, sie ist viel bedeutender am positiven als am negativen Pole, wie man schon daraus ersieht, dass das Kohlenstück, welches den positiven Pol bildet, nach Unterbrechung des Stromes noch eine Zeit lang fortglüht, während das Kohlenstäbchen, welches den negativen Pol bildet, alsbald vollkommen dunkel erscheint. Wild sucht diese unipolare Wärmeentwickelung auf thermo-elektrische Effecte zurückzuführen.

Wenn man bei diesem Versuche den einen der beiden Kohlenpole durch einen starken Eisendraht ersetzt, so wird derselbe unter lebhaftem Funkensprühen verbrannt; ein Kupferdraht verbrennt mit grünlichem Lichte und ein Streifen Zinkblech mit bläulicher Flamme, wenn sie bei der Bildung des galvanischen Lichtbogens die Stelle des einen Kohlenpols vertreten.

Die unter diesen Umständen entwickelte Wärme genügt, um an einen dicken Platindraht sogleich eine Kugel anzuschmelzen.

Der galvanische Lichtbogen entsteht auch, wenn beide Pole durch Metall gebildet sind. Bei leicht schmelzbaren oder bei leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink oder Eisen, ist er grösser als beim Platin oder Silber. Besonders hell ist er, wenn Quecksilber einen Pol bildet. Die Grösse des Lichtbogens steht in Beziehung zur grösseren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher die Substanz der Pole sich zu zertheilen fähig ist; denn da der Lichtbogen durch Ueberführung fein vertheilter Substanz von einem Pole zum anderen erzeugt und erhalten wird, so muss seine Bildung nothwendig durch eine geringe Cohäsion der Polstücke begünstigt werden; deshalb kann man auch zwischen Kohlenspitzen unter sonst gleichen Umständen den grössten Lichtbogen hervorbringen.

Der Flammenbogen zeigt in seiner Lage und Gestalt eine grosse Veränderlichkeit, indem die blendenden Ausgangspunkte desselben fortwährend ihre Stelle ändern.

Nach den Versuchen von van Breda findet eine Ueberführung materieller Theilchen, wenn auch vorherrschend, doch nicht ausschliesslich vom positiven zum negativen Pole statt. Er experimentirte im leeren Raume und leitete den Uebergang des Stromes zwischen den beiden Polen durch eine starke elektrische Entladung ein. Als zwei Eisenkugeln als Pole gedient hatten, fand sich, dass das Gewicht der positiven um 309 mg abgenommen hatte, während das Gewicht der negativen nicht etwa grösser, sondern um 55 mg kleiner geworden war. Als zwischen zwei kupferne, als Pole dienende Kugeln eine isolirte Eisenplatte gehalten worden war, hatte die positive Kugel um 63, die negative um 360 g an Gewicht zugenommen. Beide hatten sich mit Eisentheilchen bedeckt, welche von der Platte kamen.

Photometrische Vergleichung des elektrischen Kohlenlichtes. 120 Ueber die Lichtstärke des galvanischen Flammenbogens hat Casselmann Versuche angestellt (Pogg. Annal. Bd. LXIII, S. 576). Er wandte zu denselben ein Bunsen'sches Photometer an, wie wir es im zweiten Bande dieses Lehrbuches kennen gelernt haben. Die Kohlenstücke, zwischen denen der Lichtbogen erzeugt wurde, waren aus derselben Masse gebildet, welche zur Herstellung der Kohlencylinder der Bunsen'schen Kette dient; jedoch waren sie noch auf verschiedene Weise präparirt worden, indem sie mit Lösungen von salpetersaurem Strontian, Borsäure etc., getränkt und nochmals stark geglüht wurden. Die so präparirten Kohlenstücke geben einen, je nach der angewandten Substanz verschieden gefärbten, sehr ruhigen Lichtbogen, der (bei einer Säule von 44 Bunsen'schen Bechern) erst erlischt, wenn die Kohlenspitzen 7 bis 8 mm von einander entfernt werden, während der unruhige Lichtbogen der rohen Kohle schon bei 5 mm Entfernung erlischt.

In dem Strom war gleichzeitig eine Tangentenbussole eingeschaltet, so dass die jeder gemessenen Lichtstärke entsprechende Stromstärke bestimmt werden konnte.

Die Tabelle (a. f. S.) giebt die in jedem Falle entsprechende Lichtstärke der beiden hellen Punkte, sammt dem Bogen verglichen mit der Lichtstärke einer Stearinkerze, und zwar für jede Kohlenart einmal bei ganz kleiner, dann bei möglichst grosser Entfernung der Kohlenspitzen. — Die Werthe der Stromstärke sind bereits auf chemische Einheit reducirt.

Die Tabelle zeigt uns, dass mit der Entfernung der Spitzen die Lichtstärke und die Stromstärke abnimmt. Durch die meisten der Substanzen, mit welchen die Kohle behandelt wurde, ist der Lichtbogen zwar ruhiger, und eine grössere Entfernung der Kohlenspitzen möglich, aber keine grössere Lichtstärke erzielt worden; dies ist nur der Fall bei der Kohle, die in eine Mischung von Borax mit Schwefelsäure getaucht war.

Auch bei unveränderter Entfernung der Spitzen nimmt die Lichtstärke zu, wenn die Stromstärke wächst.

Nach den Versuchen von Fizeau und Foucault ist die photographische Wirksamkeit des durch 46 Bunsen'sche Zinkkohlen-

	Entfernung der Kohlenspitzen	Stromstärke	Lichtstärke
Rohe Kohle	0·5 mm	95	932
	4·5	68	139
Kohle mit salpetersaurem Strontian	0·5	120	353
	6·75	88	274
Kohle mit Aetzkali . . .	2·5	101	150
	8	82	75
Kohle mit Zinkchlorid .	1·0	80	624
	5·0	67	159
Kohle mit Borax und Schwefelsäure . . .	1·5	72	1171
	5·0	64	165

becher erzeugten Kohlenlichtes 34mal so gross als die des Drummond'schen Kalklichtes.

Die ausgezeichneten chemischen Wirkungen des elektrischen Lichtes rühren daher, dass es sehr reich an blauen, violetten und ultravioletten Strahlen ist, was auch daraus hervorgeht, dass die eigenthümlichen Farbenerscheinungen fluorescirender Körper bei einer Beleuchtung durch das galvanische Kohlenlicht sehr schön hervortreten.

121 **Regulatoren für das elektrische Kohlenlicht.** Die grosse Intensität des galvanischen Kohlenlichtes musste bald zu der Idee führen, dasselbe zur Beleuchtung zu verwenden. Da nun aber selbst die Bunsen'sche Kohlenmasse nicht fest genug ist, um auf längere Zeit eine hinlängliche gleichförmige Lichtentwickelung zu gestatten, so substituirte Foucault statt ihrer eine Kohlenmasse, welche sich in den zur Entwickelung des Leuchtgases dienenden Retorten absetzt und welche so fest ist, dass sie sich kaum mit der Säge bearbeiten lässt. Aus solcher Gaskohle (Retortenkohle) hergestellte Stäbchen geben, als Polspitzen einer kräftigen galvanischen Säule angewandt, ein sehr intensives gleichförmiges Licht, während sie ihrer grossen Festigkeit wegen nur eine unbedeutende Entwickelung des Lichtbogens gestatten, auf welchen es aber auch bei Beleuchtungszwecken gar nicht ankommt.

Neuester Zeit werden solche Kohlenstäbchen auf künstlichem Wege von verschiedenen Firmen hergestellt, unter welchen sich die der Gebrüder Siemens und Comp. in Charlottenburg durch sehr ruhiges Licht auszeichnen.

So langsam auch die Consumtion dieser Kohlenspitzen sein mag, so ist doch die Abnutzung namentlich der positiven Polspitze stark genug, um alsbald eine Unterbrechung des Stromes zu bewirken, wenn

die beiden Pole fest einander gegenüber gestellt wären; wo es sich also um eine praktische Anwendung des elektrischen Kohlenlichtes handelt, muss durch eine geeignete Vorrichtung dafür gesorgt sein, dass die beiden Polspitzen stets in dem gehörigen Abstande von einander erhalten werden, dass also der positive Pol in gleichem Maasse gegen den negativen Pol vorgeschoben wird, in welchem er sich unter dem Einflusse des Stromes verkürzt.

Solche Vorrichtungen, welche man Kohlenlichtregulatoren oder elektrische Lampen nennt, sind in grosser Anzahl und zwar oft mit ausserordentlichem Scharfsinne construirt worden. Die gebräuchlichsten derselben sind die von Foucault, Serrin, Jaspar, Dornfeld (Krupp's Patent), Lontin, Fontaine, Stöhrer (Patent), v. Hefner-Alteneck (Siemens-Halske's Patent). Wir wollen einige derselben beschreiben. Dabei müssen wir allerdings die erst später abzuhandelnden elektromagnetischen Wirkungen einer Spirale auf einen Eisenkern als bekannt voraussetzen.

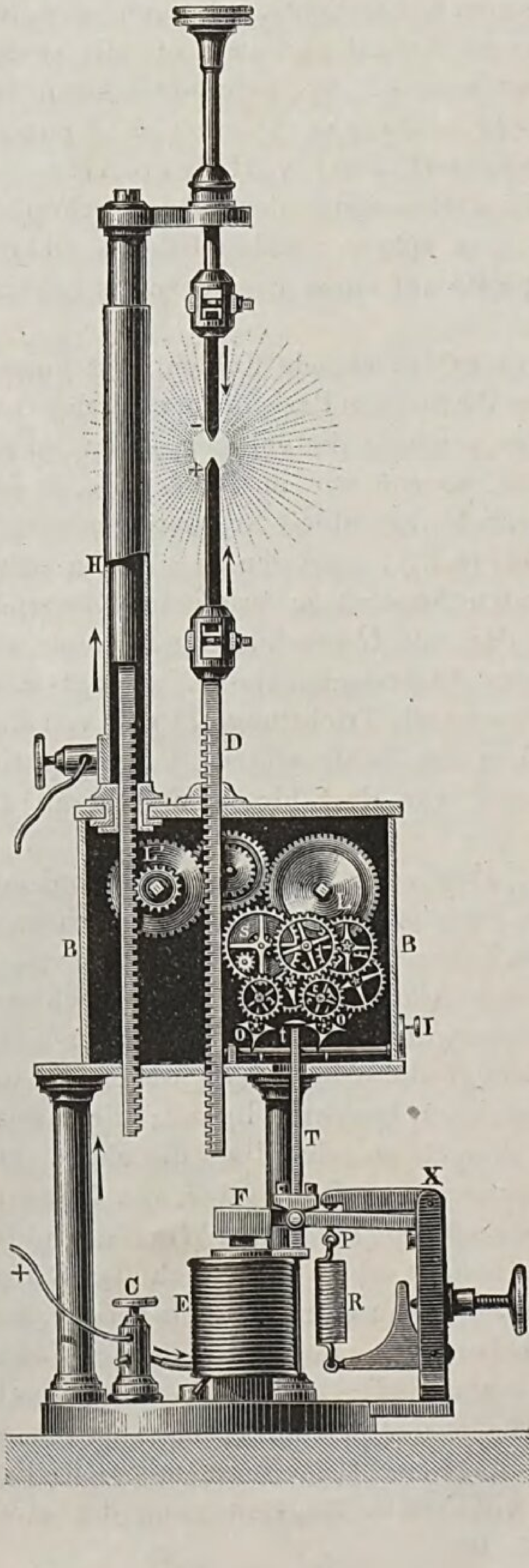
Der erste, allen Anforderungen entsprechende Kohlenlichtregulator ist jener von Foucault, welcher von Dubosq in Paris in vorzüglicher Güte construirt wird und zwar so, dass er genau in die von demselben Optiker construirte Projectionslaterne passt, welche wir im Band II, 1, S. 388 beschrieben haben. Der dort äusserlich abgebildete Regulator entspricht einer älteren Construction. Fig. 347 (a. f. S.) zeigt den in physikalischen Kabineten ziemlich weit verbreiteten Apparat in eröffnetem Zustande.

Der positive Strom tritt bei der mit C bezeichneten Klemme ein, umkreist dann die Windungen des Elektromagnets E, gelangt dann durch die Metalltheile des Apparates an die Triebstange D und von dort an die Unterbrechungsstelle zwischen den Kohlenspitzen. Der negative Strom wird direct der Säule H und von dort hinauf und herab der Unterbrechungsstelle zugeführt.

Um den etwas complicirten, aber sehr sinnreichen Mechanismus der Hauptsache nach zu verstehen, fasse man zunächst das Federhaus L' ins Auge, welches mit dem kleineren Zahnrade die linksseitige Zahnstange also die obere Kohle bewegt, mit dem grösseren Zahnrade die rechtsseitige Zahnstange also die untere Kohlenspitze in entgegengesetzter Weise in Bewegung setzt. Ueberdies erfolgt diese Bewegung wegen der ungleichen Raddurchmesser mit ungleicher Geschwindigkeit; die untere positive Kohlenspitze bewegt sich doppelt so schnell als die obere. Die Drehung des Federhauses L' wird ausserdem auf ein System von 5 Rädern übertragen, deren letztes o' einen sternförmig geformten Windfang bildet. So lange dieser Windfang nicht gehemmt wird, dreht sich das Rädersystem derartig, dass die Räder des Federhauses nach rechts rotiren, was eine Entfernung der Kohlenspitzen bewirken muss. Ein zweites Federhaus L ist in ähnlicher Weise mit einem Rädersystem verbunden, dessen letztes der Windfang o ist. Zwischen beiden Rädersystemen ist ein sogenanntes Satellitenrad (unter S) angebracht, welches mit denselben derart im Eingriffe steht, dass es gleichzeitig die Bewegung des einen

Laufwerkes hemmt, wenn es die entgegengesetzte des anderen frei lässt. Zwischen den beiden Windflügelrädern *o* und *o'* befindet sich ein verticales oben mit einer querliegenden Arretirungsvorrichtung *t* versehenes Stäbchen, welches mit dem unteren Ende an dem eisernen Anker *F* des Elektromagnets befestigt ist und deshalb zugleich mit den Oscillationen dieses Ankers um seinen Drehungspunkt hin und her oscillirt und dabei abwechselnd in die Flügel der Windräder *o* oder *o'* eingreift, so dass das eine gehemmt, das andere freigelassen wird.

Fig. 347.



Der Anker selbst wird durch eine Feder *R* von dem Elektromagnet abgezogen, jedoch wirkt diese Feder nicht direct auf den Ankerhebel, sondern zunächst auf das Ende eines um die Axe *X* drehbaren Metallstückes, welches auf seiner Unterseite derartig gekrümmt ist, dass bei seinem Niedergange immer andere dem Drahtstücke *X* nähere Punkte mit dem Ankerhebel in Berührung kommen. Hierdurch wird der Hebelarm, an welchem die Feder den Anker angreift, in dem Maasse länger, also ihre Wirkung kräftiger, als der Anker sich dem Magnetpole nähert, und es wird hierdurch dem zu plötzlichen Anwachsen der anziehenden Kraft des Magnets vorgebeugt.

Die Wirkungsweise dieses ganzen Mechanismus ist nun folgende:

Sind die Pole mit den Klemmschrauben verbunden und das Räderwerk aufgezogen und ausgelöst, so steht zunächst der Arretirungshaken *t* auf der rechten Seite, hemmt *o'* und lässt *o* frei, in Folge dessen müssen sich die

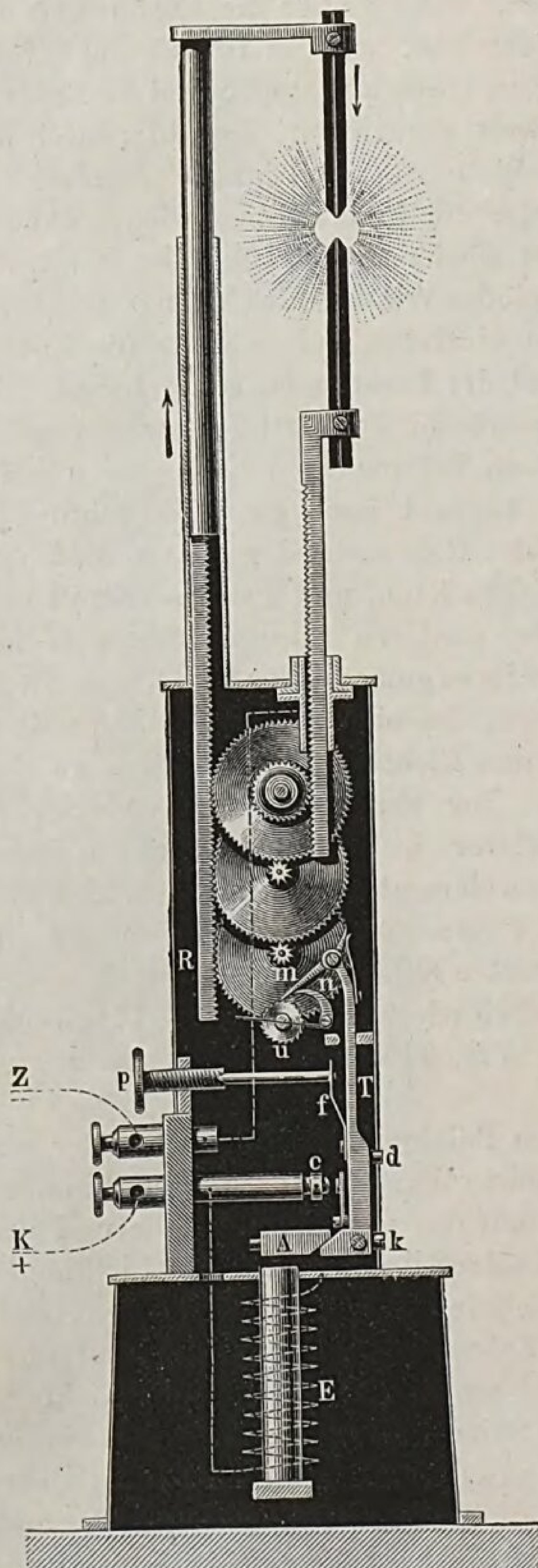
Kohlenspitzen nähern. Durch die eingetretene Berührung kommt der Strom zu Stande, er belebt den Elektromagnet E, zieht den Anker F an und bringt hierdurch den Haken t nach links. Nun wird also o' frei und damit jenes Rädersystem, welches die Kohlenspitzen von einander entfernt. Der Lichtbogen bildet sich. Sobald aber die Entfernung der Kohlen einen gewissen Betrag erreicht hat, wird hierdurch die Stromstärke geschwächt, der Anker F weniger stark angezogen und die Feder R in den Stand gesetzt, denselben soweit abzuziehen, dass hierdurch der Haken t wiederum nach rechts geht, o frei lässt und o' hemmt. In Folge dieser Wirkung müssen sich also die Kohlenspitzen wieder nähern, aber nur sehr wenig, da sonst sofort wieder die Stromstärke steigt, der Haken T nach links geht und wieder das Windmühlrädchen o' frei lässt. Es muss also bald ein Gleichgewicht eintreten, bei welchem die Entfernung der Kohlenspitzen constant und der Lichtbogen ruhig bleibt. Die Spannung der Feder R kann entsprechend der Batteriestärke regulirt werden. Auch die Ankerdistanz kann bei manchen Exemplaren geändert werden. Ausserdem hat der Apparat noch zwei Einrichtungen, dass man die Kohlenstifte während des Gebrauchs der Lampe unabhängig vom Räderwerk auf und ab bewegen kann, und zwar vermittelt eine (in der Figur nicht sichtbare, an der vorderen Aussenseite vor L' angebrachte) Schraube die gleichzeitige Bewegung beider Stifte, eine rückwärts gelegene Schraube die Bewegung des oberen Stiftes allein. Hierdurch ist man in die Lage versetzt, dem Lichtbogen von Anfang an eine beliebig hohe Stellung zu geben. Zur Erzeugung des elektrischen Lichtes mittelst Foucault's Regulator bedient man sich meistens einer Batterie von 50 bis 60 Bunsenelementen; zur Noth gelingt dies auch mit 36 bis 40 Elementen, doch treten dann leichter Störungen ein.

Von den in Deutschland construirten Kohlenlichtregulatoren wollen wir zuerst den Siemens-Halske'schen (System v. Hefner-Alteneck) in seinen Haupttheilen beschreiben. Fig. 348 (a. f. S.) giebt davon eine Abbildung.

Man beachte zunächst die beiden Polklemmen Z und K. Der positive Strom geht von K durch die isolirte Wand hindurch, dann hinunter und um den Elektromagnet E, dann auf das metallene Gestelle und von diesem auf den Träger des oberen Kohlenstiftes, durch den Lichtbogen zur unteren Kohlenspitze und zur isolirten Zahnstange derselben, endlich von dort zurück nach Z. Beide Zahnstangen sind mit einem Räderwerk derart verbunden, dass beide Spitzen in entgegengesetzter Richtung sich bewegen und zwar die positive Spitze mit doppelter Geschwindigkeit. Diese Bewegung wird durch das Uebergewicht des Trägers des oberen Stiftes hervorgebracht und durch ein Windrädchen bei u verlangsamt. Die Kohlenspitzen werden also durch die bisher beschriebene Vorrichtung einander genähert; es folgen nun die Vorrichtungen zur Entfernung derselben. Sobald der Strom durch die Berührung der Kohlenspitzen geschlossen wurde, zieht der Elektromagnet den Anker A an, bewegt hierdurch den um

eine Axe bei k drehbaren Hebel T und bringt dadurch zwei Wirkungen hervor. Einmal wird hierdurch mittelst des Stössers m das Rädchen u, in dessen Zähne die Spitze des Stössers eingreift, zurückgedreht, welche Drehung auf dem Wege durch das übrige Räderwerk hindurch eine Entfernung der Kohlenspitzen bewirkt. Dann aber wird gleichzeitig bei c ein Contact geschlossen, wodurch dem Strom ein kürzerer Weg neben der Spirale des Elektromagneten vorbei eröffnet wird. Der letztere verliert deshalb seine Kraft, der Hebel T weicht unter dem Drucke der Feder f nach rechts zurück und zieht den Stösser nach sich. Ist aber die eingetretene Entfernung der Kohlenspitzen noch nicht hinreichend gross gewesen, so wiederholt sich sofort dasselbe Spiel, der Hebel T oscillirt dann so oft hin und her, bis endlich durch den wiederholten Eingriff des Stössers in das Räderwerk die Entfernung der Kohlenspitzen so gross geworden ist, dass der dadurch bis auf eine bestimmte Gränze geschwächte Strom die Anziehung des Ankers A nicht mehr zu bewirken vermag. Von da ab liegt dann der Hebel T an dem Ruheanschlag d an, das Windrädchen wird frei und die Kohlenspitzen können sich wieder nähern.

Fig. 348.



Durch eine kleine Abänderung können die beiden beschriebenen Regulatoren auch für die später zu erwähnenden Wechselströme eingerichtet werden. Für physikalische Kabinete recht empfehlenswerth, weil auch für wenige Elemente anwendbar, ist der von Stöhrer jun. mit Benutzung des hydrostatischen Auftriebes construirte einfache Regulator, welcher in Fig. 349 und 350 abgebildet ist. Der递 Haupttheil des Apparates ist ein aus Eisenblech geformter Schwimmer a (Fig. 350), wel-

cher sich in dem nur wenige Millimeter weiteren, mit Glycerin gefüllten Cylinder *b* auf und ab bewegen kann. — Der obere Theil des Schwimmers trägt eine Röhre *c*, in welche die Kohlenspitze *d* eingeschoben wird; unterhalb ist ein starker Kupferdraht befestigt, der in eine eiserne, mit Quecksilber gefüllte Röhre *f* taucht, welche mit dem einen Pole der Batterie verbunden ist. Die Grösse des Schwimmers ist so gewählt, dass er sich nur langsam in der dicken Flüssigkeit nach oben bewegt. Durch Auflegen von kleinen Gewichten auf eine Schale unterhalb der Kohlenstange *d* kann man bewirken, dass die Kohlenspitze *d* gegen die obere Spitze *d'* nur mit einem sehr geringen Druck gepresst wird.

Fig. 349.

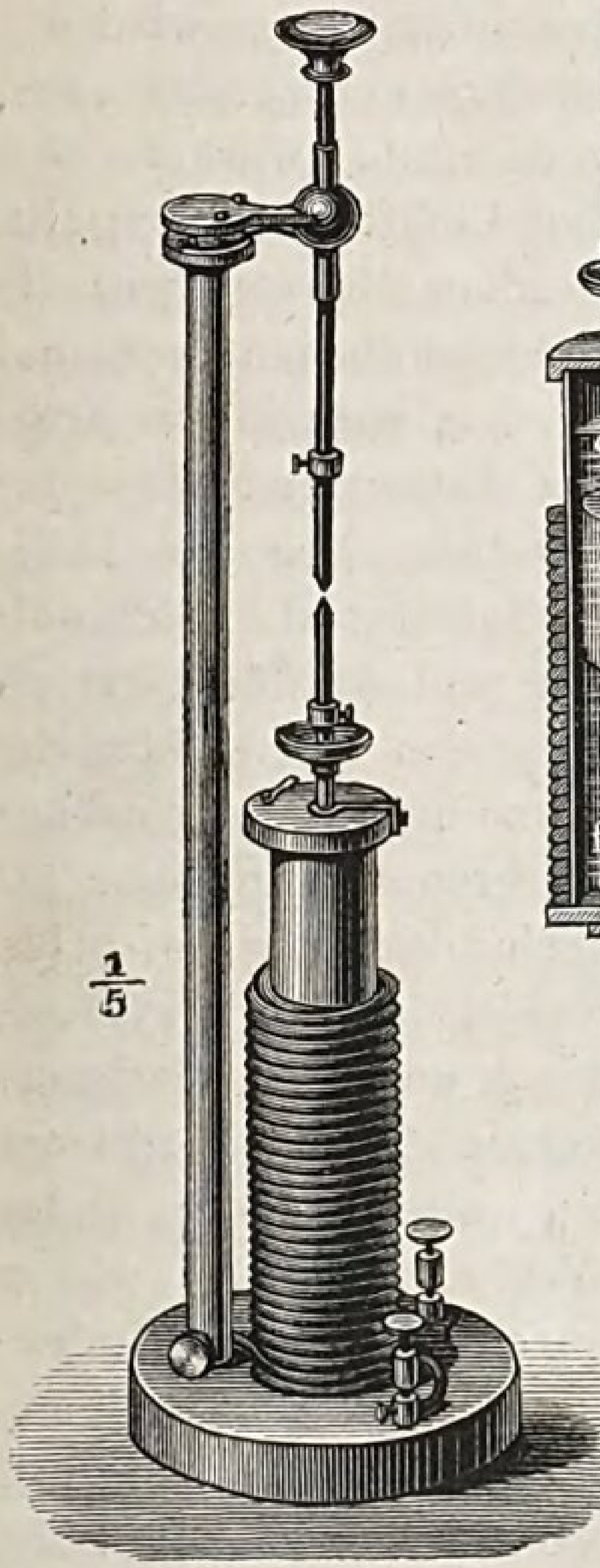
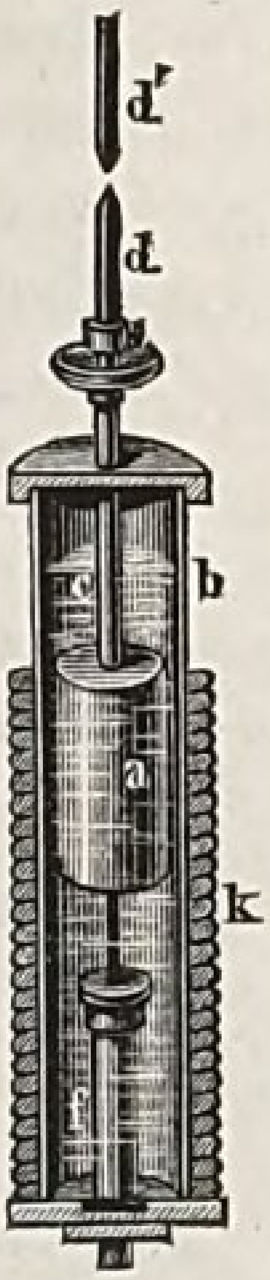


Fig. 350.



Es ist dies nöthig, wenn man schon bei wenigen Elementen ein ruhig brennendes Licht erhalten will. Ferner ist die den Cylinder *b* umgebende Kupferdrahtspirale *k* in den Stromkreis eingeschaltet. Beim Entstehen des Lichtbogens wird der Schwimmer *a* mit der Kohlenspitze *d* nach unten gezogen und die Länge des Lichtbogens je nach der Stärke des Stromes regulirt.

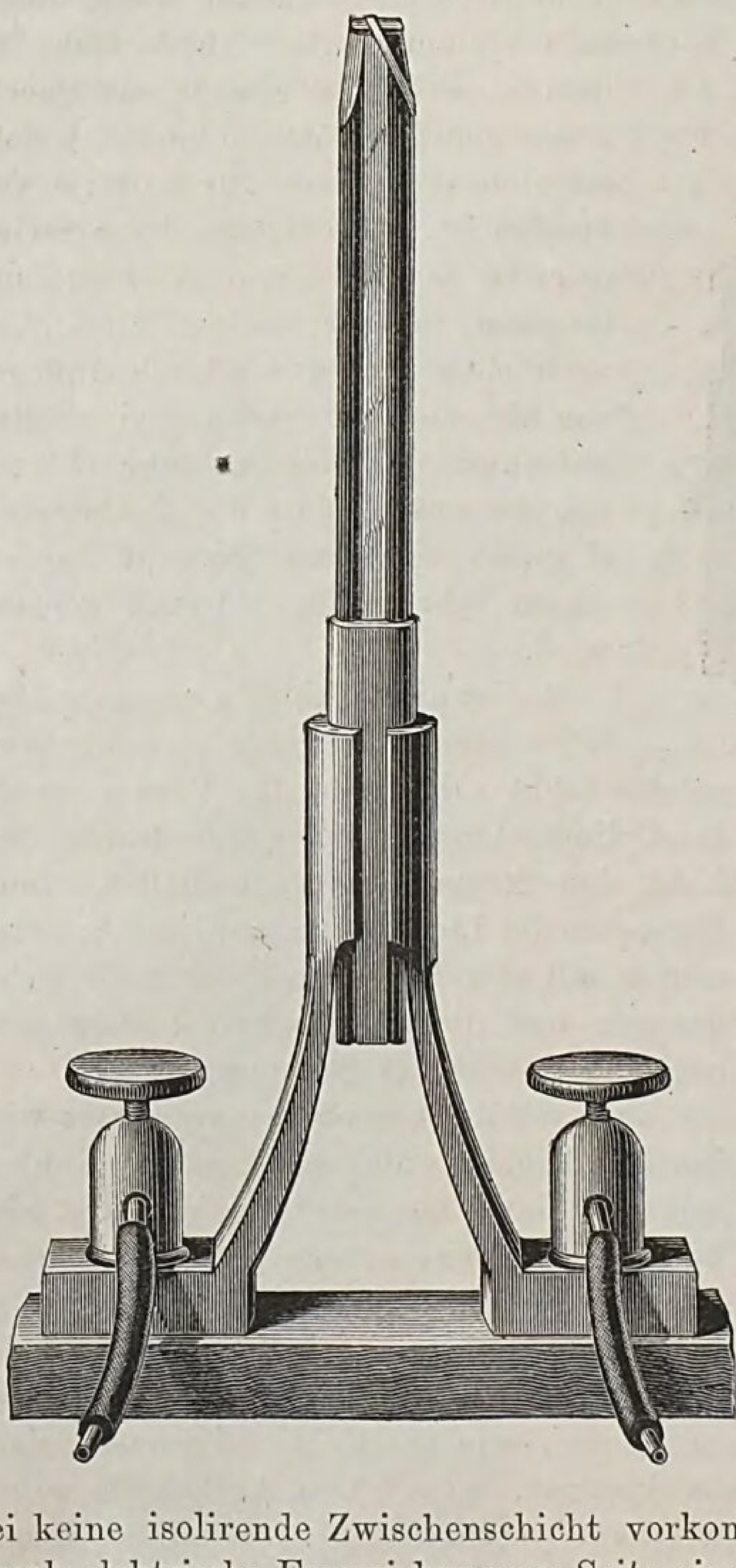
Je nach der Grösse des Apparates wird das Metallrohr, welches die obere Kohlenspitze trägt, entweder nur mit der Hand in einer Messingröhre oder durch eine Zahnstange mit Trieb verschoben, wobei der Apparat schon zu einfachen Projectionsversuchen, Darstellung des Spectrums etc. zu verwenden ist. Bei noch grösseren Apparaten wird das Metallrohr, wenn der Lichtbogen an einer festen Stelle verweilen soll, durch ein regulirbares Uhrwerk in dem Maasse, wie die Kohle verbrennt, nach unten bewegt. Ein ähnlicher Apparat, in welchem das gerade wegen seiner Zähigkeit empfehlenswerthe Glycerin durch Quecksilber ersetzt ist, ist von Ducretet (Compt. rend. LXXVII. p. 1081) beschrieben worden.

Durch ihre Unabhängigkeit von Aenderungen in der Stromstärke zeichnet sich insbesondere noch die sogenannte Differenziallampe von Siemens und Halske aus, deren Beschreibung wir übergehen.

Auf ganz anderem und zwar viel einfacherem Wege hat der russische Ingenieur G. Jablochkoff die constante Entfernung der Kohlenpole zu erreichen versucht. Die nach ihm benannte „elektrische Kerze" besteht, wie Fig. 351 (a. f. S.) darstellt, einfach aus zwei parallel gestellten

durch eine isolirende Masse (Gyps, Porcellan) getrennten Kohlenstäbchen, welche an ihrer Spitze anfangs durch ein Stück eines halbleitenden Stoffes verbunden sind. Beim Einleiten des elektrischen Stromes wird der letztere entzündet und verbrannt, worauf sich der Lichtbogen herstellt. In dem Maasse, wie die Kohlenstäbchen verzehrt werden, wird in der grossen Hitze auch das dazwischen liegende Isolirungsmaterial geschmolzen und verflüchtigt, so dass also die elektrische Kerze nur allmälig herunter brennt. Soll dies jedoch mit Bezug auf beide Kohlenstäbchen symmetrisch und regelmässig erfolgen, so muss der Strom ein alternirender oder Wechselstrom sein, wie er durch passende Inductionsapparate, von denen später die Rede sein wird, erhalten werden kann. Mit Beginn des Winters 1879 bis 1880 betrug die Anzahl der von der *Société génerale d'Electricité* installirten Jablochkoff'schen Kerzen bereits über 3000. Jamin hat eine neue elektrische Kerze construirt, wobei keine isolirende Zwischenschicht vorkommt, da der Flammenbogen durch elektrische Fernwirkung von Seite einer umgebenden Stromleitung an die Enden der Kohlenstäbe festgebannt wird.

Fig. 351.



122 **Die chemischen Wirkungen des Stromes.** Wir haben bereits in §. 81 erfahren, dass die Leiter der Elektricität in zwei Hauptklassen zerfallen, in Leiter der ersten Ordnung, welche nach der Contacttheorie dem Gesetze der Spannungsreihe gehorchen und in Leiter zweiter Ordnung, für welche dies nicht der Fall ist.

Diesen Unterschied hatte bereits Volta richtig erkannt; ausser diesem zeigen sie aber noch eine andere wesentliche Verschiedenheit in Beziehung auf die Stromleitung. Zu den Leitern der ersten Classe gehören vorzugsweise die Metalle; sie leiten den elektrischen Strom, ohne, eine entsprechende Wärmeentwickelung abgerechnet, eine Veränderung in ihrer Substanz zu erfahren. Die Leiter der zweiten Classe hingegen, in welche die chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten gehören, können den elektrischen Strom nur in Folge einer chemischen Zersetzung leiten, oder mit anderen Worten, die chemische Zersetzung vermittelt die Stromleitung in den zu den Leitern zweiter Classe gehörigen Flüssigkeiten.

Nach einer von Faraday eingeführten, heute noch üblichen Bezeichnungsweise nennt man den Vorgang der Zersetzung eines Leiters durch den Strom Elektrolyse, den zerlegbaren Leiter Elektrolyt, die Eintrittsstelle des positiven Stromes Anode, die Austrittsstelle Kathode, beide Stellen zusammen Elektroden. Die Zersetzungsproducte nennt man Jonen und zwar jenes Product, welches an der Anode ausgeschieden wird, Anion, das an der Kathode Kation. Unter Stromdichte versteht man das Verhältniss $\frac{J}{O}$ zwischen Stromstärke und Oberfläche der Elektrode.

Die erste galvanische Zersetzung, welche beobachtet wurde, war diejenige, welche beim Durchleiten des Stromes durch nicht ganz reines Wasser erfolgt.

Im Jahre 1800 bemerkten nämlich zwei englische Physiker, Carlisle und Nicholson, während sie mit einer Volta'schen Säule experimentirten, den eigenthümlichen Geruch, welcher die Entwickelung von Wasserstoff begleitet und Nicholson kam, dadurch veranlasst, auf den glücklichen Gedanken, den Strom durch eine Röhre mit Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Bald stieg das Wasserstoffgas in kleinen Bläschen am negativen Pole auf, während der positive, aus Zink bestehende Poldraht sich oxydirte. Wird für den positiven Poldraht Platin oder Silber genommen, so oxydirt er sich nicht, sondern das Sauerstoffgas steigt ebenfalls in Bläschen in die Höhe. So glaubte man denn endlich, das Wasser direct in seine Elemente zerlegt zu haben. Erst in neuerer Zeit wurde erkannt, dass es in Wirklichkeit nur eine indirecte secundäre chemische Wirkung des Stromes ist, indem das reine Wasser selbst durch den Strom gar nicht zersetzt werden kann. Es sind stets die im Wasser gelösten, wenn auch oft nur spurenweise vorhandenen Salze oder salzartigen Säurehydrate, welche zersetzt werden und in weiter unten zu erklärender Weise zur indirecten Elektrolyse des Wassers Anlass geben. Wenn also dennoch von „Wasserzersetzung durch den Strom" gesprochen wird, so hat man darunter eine indirecte Zersetzung zu verstehen.

Um beide Gase getrennt auffangen, messen und untersuchen zu können, hat man verschiedene Apparate construirt. Fig. 352 zeigt einen der gebräuchlichsten. Er besteht aus einem mit gesäuertem Wasser gefüllten Glase, durch dessen isolirenden Boden zwei Kupferdrähte hindurchgehen, welche sich jedoch nicht berühren dürfen. An diese Drähte sind Platinplatten angelöthet, die Löthstelle aber und der Kupferdraht, so weit er sich im Gefäss befindet, ist sorgfältig mit Siegellacklösung überzogen. Zwei Glasglöckchen *o* und *h* sind mit gesäuertem Wasser gefüllt und hängen in das Gefäss herab, so dass sich über jeder der beiden Polplatten ein solches Glöckchen befindet. Sobald man nun die Drähte *f* und *f'* mit den Polen der Säule in Verbindung bringt, entwickeln sich Gasblasen in reichlichem Maasse. Reines Sauerstoffgas steigt immer in dem Glöckchen über dem positiven Pole auf, das Was-

Fig. 352.

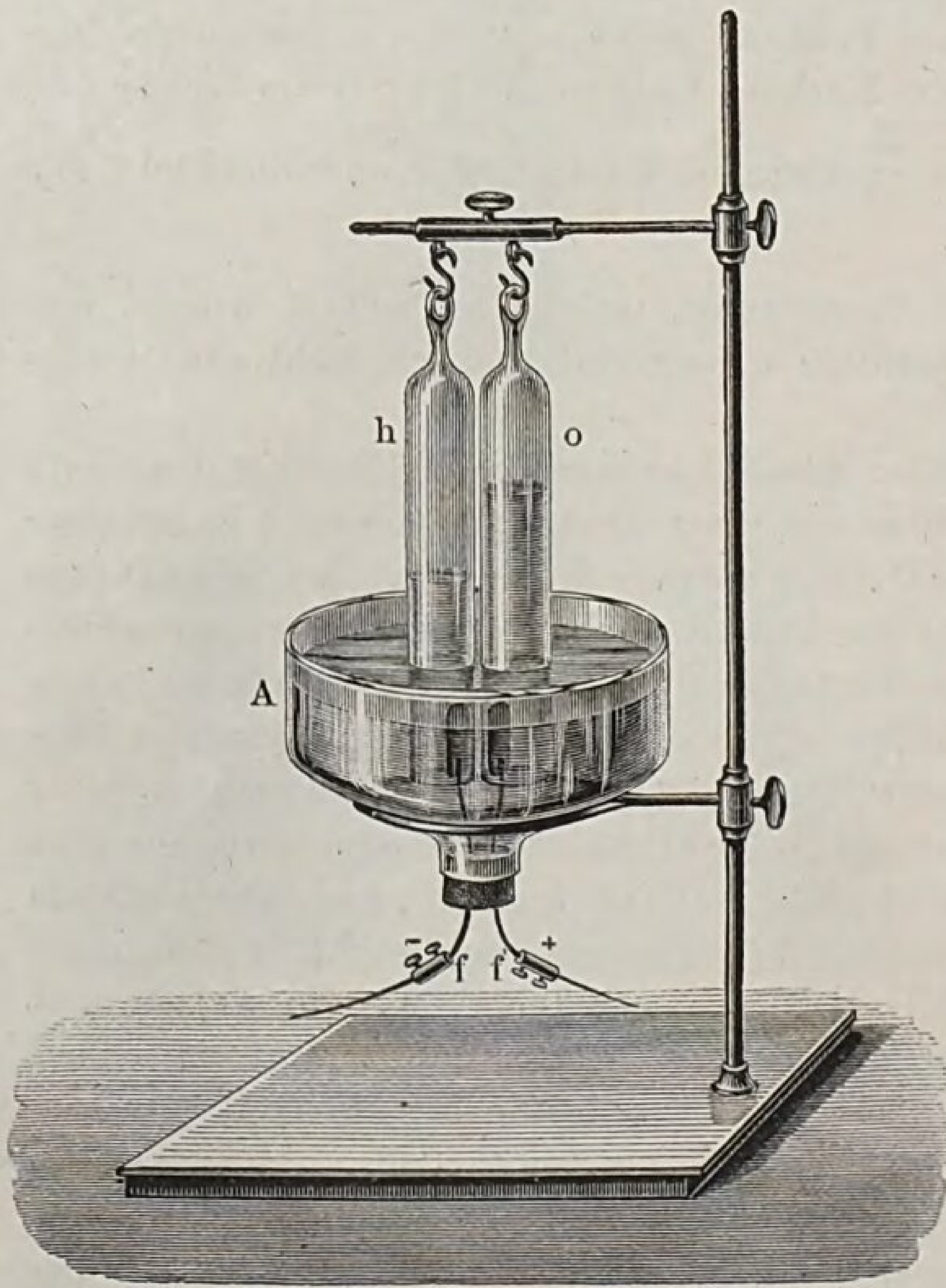
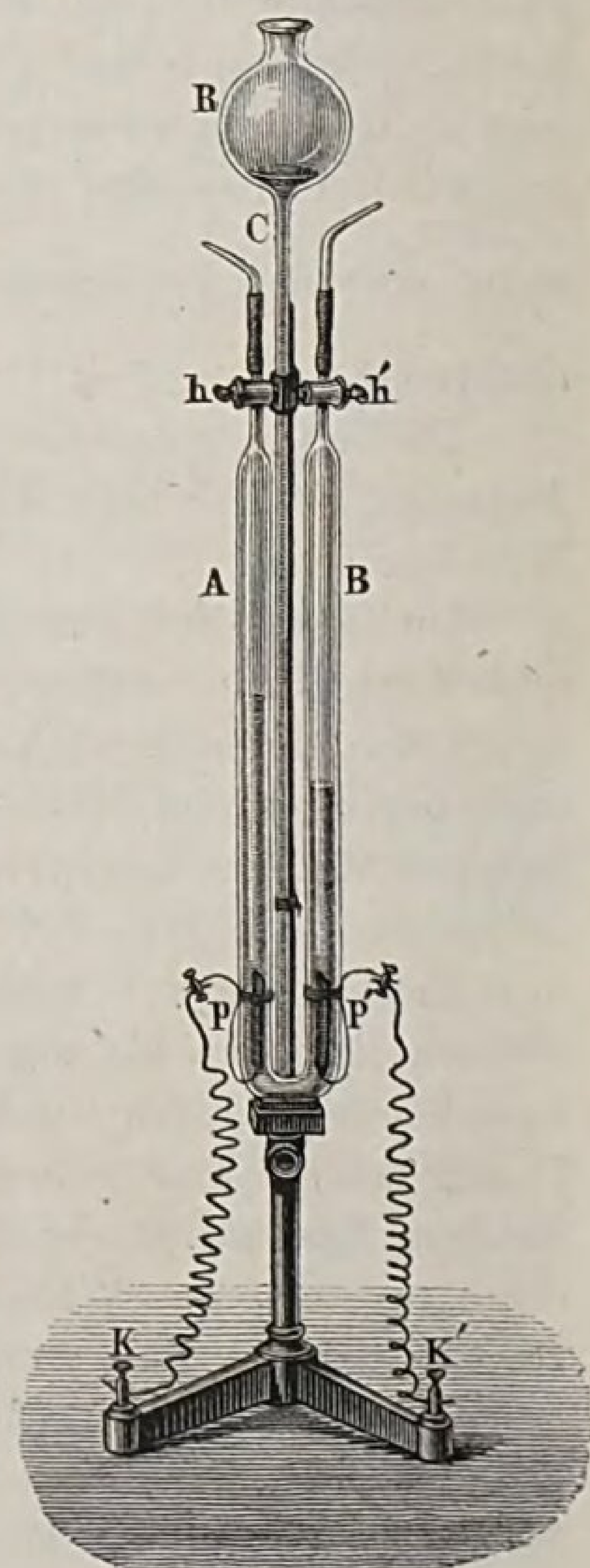


Fig. 353.



serstoffgas im anderen. Das Volumen des an der negativen Polplatte aufsteigenden Wasserstoffgases ist doppelt so gross, als das Volumen des am positiven Pol frei werdenden Sauerstoffgases.

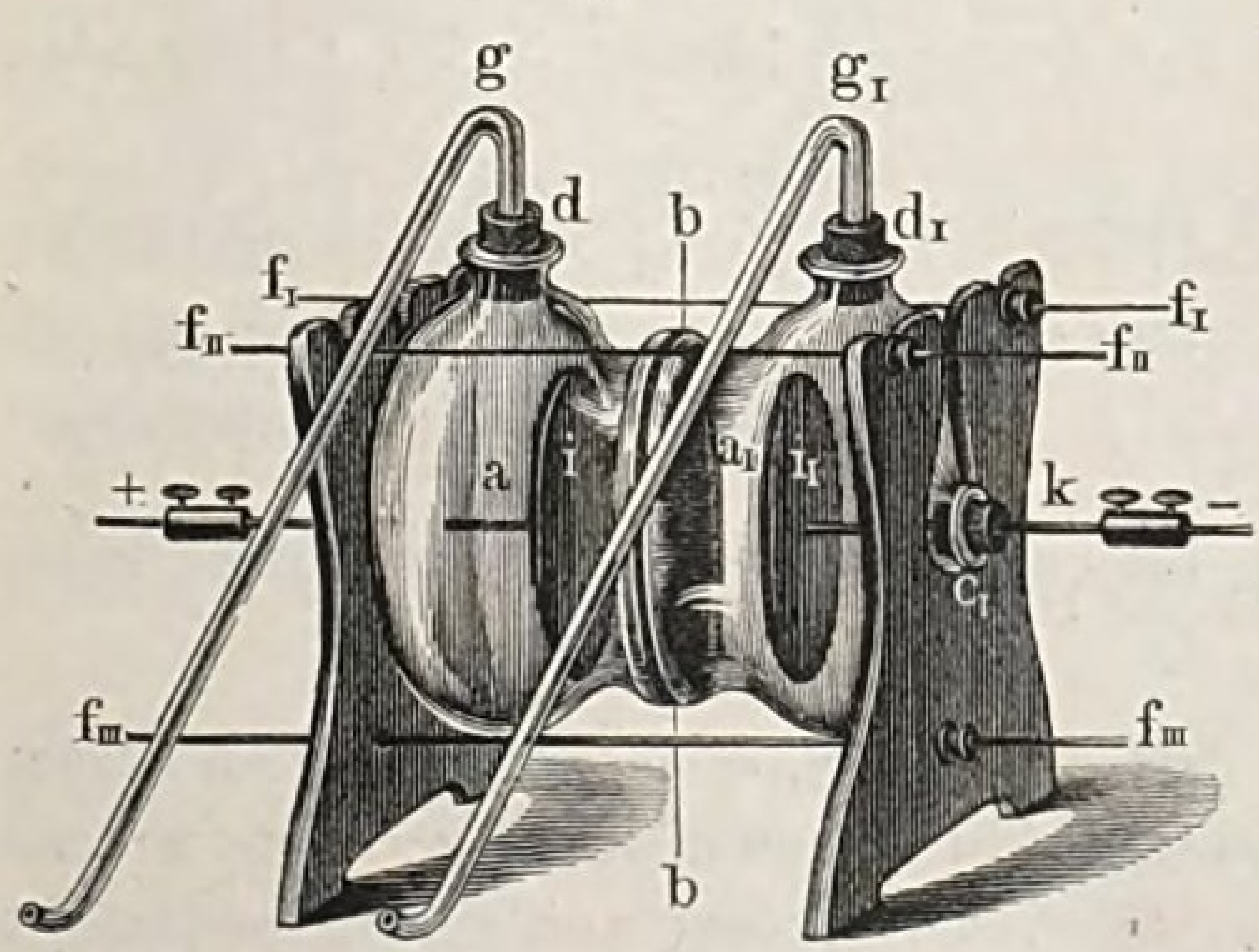
Die Gasentwickelung ist um so lebhafter, je näher die Polplatten einander sind und je grösser die Oberfläche des Metalles ist, welche mit dem Wasser in Berührung steht, weil damit der Strom zunimmt. Man wendet deshalb anstatt der ursprünglich gebräuchlichen Poldrähte Platinplättchen an.

Viel bequemer ist der Fig. 353 abgebildete, von A. W. Hofmann construirte Apparat. Die U förmig gebogene aus den beiden Schenkeln A und B bestehende Glasröhre communicirt rückwärts mit der Steigröhre C, welche zu dem höher gelegenen Reservoir R führt. Die Schenkel A und B sind durch Glashähne h, h' verschliessbar und münden nach oben in Röhrenspitzen, welche mittelst Kautschukröhrchen aufgesetzt werden. Bei p und p' sind Platindrähte eingeschmolzen, welche innen zu Platinplatten, aussen zu Polklemmen K, K' führen. Der Apparat wird mit angesäuertem Wasser gefüllt, indem man die Hähne öffnet, bis die Flüssigkeit alle Luft verdrängt hat und sie dann wieder schliesst. Nachdem der Strom eine hinlängliche Menge Gas entwickelt hat, kann man zunächst deren Volumverhältnisse nachweisen, wobei auf die ungleiche Höhe der drückenden Flüssigkeitssäule Rücksicht zu nehmen ist. Um dann das Vorhandensein von Wasserstoff und Sauerstoff nachzuweisen, öffnet man die entsprechenden Hähne und zeigt, dass das eine brennt, das andere das Brennen (eines glimmenden Spahns) unterhält.

Die Voltameter zum Auffangen der gemischten Gase haben wir bereits oben S. 284 kennen gelernt.

Um grössere Quantitäten von Wasserstoff und Sauerstoff auf galvanischem Wege zu erhalten, kann man sich des Apparates Fig. 354 bedienen. Bei $b\,b$ ist zwischen die beiden grösseren mit dickerem abgeschliffenem Rande umgebenen Oeffnungen der Glasgefässe a und a_1 eine Wand von porösem Thon eingekittet; ausserdem werden aber die beiden Gefässe noch zwischen zwei Brettchen durch Schrauben festgehalten. Jedes dieser Gefässe, welche mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt werden, hat oben einen Tubulus zur Aufnahme der Gasleitungsröhren, während die Zuleitungsdrähte für die Platinplatten i und i_1 durch zwei diametral gegenüberstehende Tubuli c (in der Figur nicht sichtbar) und c_1 eingeführt werden.

Fig. 354.



Die Frage, ob das Wasser für sich den Strom leite und wie gross im bejahenden Falle das Leitungsvermögen desselben sei, hat den Phy-

sikern grosse Schwierigkeiten bereitet. Magnus fand das Leitungsvermögen des reinen Wassers bei 20⁰ im Verhältniss zum Quecksilber:

$$\lambda = 0{\cdot}000000000133 = \frac{1{\cdot}33}{10^{10}}.$$

Quincke fand

$$\lambda = 0{\cdot}000000000216 = \frac{2{\cdot}16}{10^{10}}.$$

F. Kohlrausch reinigte das Wasser durch folgeweise Destillation über übermangansaures Kali, Aetzkali und saures schwefelsaures Kali, um organische Verbindungen zu zerstören, Säuren und Ammoniak zurückzuhalten. Zuletzt wurde dasselbe nochmals durch einen Platinkühler direct in die Platinschale destillirt, in welcher sofort die Widerstandsbestimmung vorgenommen wurde. Die Innenfläche dieser Schale bildete nämlich die eine Elektrode, eine concentrisch angebrachte kleinere Schale die andere Elektrode. F. Kohlrausch gelangte so bis zum kleinsten Werthe:

$$\lambda = \frac{0{\cdot}72}{10^{10}},$$

hält jedoch auch diese Zahl nur für eine obere Gränze.

Demnach würde eine Wassersäule von 1 mm Länge denselben Widerstand darbieten, wie eine gleich dicke Kupfersäule ungefähr von der Länge der Mondbahn. Man kann daher auch wohl sagen, dass das reine Wasser kein Stromleiter sei, also auch nicht merklich zersetzt werde.

Die geringsten Verunreinigungen geben aber dem Wasser merkliches Leitungsvermögen. Durch blosses Stehenlassen in der Platinschale unter einer Glasglocke stieg dasselbe von $\lambda = \frac{0{\cdot}77}{10^{10}}$ binnen 5, 20, 80 Stunden auf $\frac{1{\cdot}5}{10^{10}}, \frac{3{\cdot}5}{10^{10}}, \frac{8{\cdot}6}{10^{10}}$, binnen 44 Tagen auf $\frac{30}{10^{10}}$. Ein Milliontel Schwefelsäure oder Salpetersäure, d. h. ein Tropfen auf etwa 60 Liter, steigert das Leitungsvermögen auf das 10 fache. Gewöhnliches Schnee- und Regenwasser lieferte die Werthe $\frac{4{\cdot}1}{10^{10}}$ bis $\frac{19{\cdot}8}{10^{10}}$, Quell- und Flusswasser leitet natürlich noch besser.

Nachdem also erwiesen ist, dass das reine Wasser durch den Strom überhaupt nicht direct zersetzt wird, so kann auch die früher angenommene Erklärung von Grothuss, wie diese Zersetzung vor sich gehe, nicht mehr aufrecht erhalten werden. Wir müssen dagegen zeigen, wie die Zersetzung von in Wasser gelösten Salzen oder Säuren zur Entwickelung von Wasserstoff und Sauerstoff, also zur indirecten Zersetzung des Wassers führe.

Nehmen wir Schwefelsäure. Dieselbe hat als Hydrat die Zusammensetzung H_2SO_4. Der Strom spaltet sie zunächst in H_2 einerseits und

in die Gruppe SO_4 andererseits, welche letztere, da sie für sich nicht existiren kann, sofort zerfällt in SO_3 und O. SO_3, das ist Schwefelsäureanhydrid, verbindet sich sofort wieder mit Wasser zu H_2SO_4, so dass also das ursprünglich vorhandene Schwefelsäurehydrat regenerirt und ausserdem H_2 und O als Gase in Freiheit gesetzt werden. Das Endresultat ist also allerdings dasselbe, als ob die Schwefelsäure unzersetzt bliebe und das Wasser zersetzt würde. Die zunächst auffallendste Thatsache, welche eine Erklärung fordert, ist nun die, dass *die Zersetzungsproducte nur an den Elektroden auftreten*, während die übrige Strombahn innerhalb der Flüssigkeit unverändert bleibt. Man möchte meinen, dass der Strom, wenn ihm überhaupt eine zersetzende Wirkung zukommt, diese Wirkung auch überall auf seinem Wege leisten müsse. Um diese Thatsache zu erklären, hat *Grothuss* eine Hypothese vorgeschlagen, die wir jedoch dahin abgeändert vortragen wollen, dass wir eben nicht das Wasser, sondern die Schwefelsäure als Elektrolyten betrachten. Denken wir uns die beiden Elektroden — *P* und + *P* und zwischen ihnen in der Strombahn eine Reihe von H_2SO_4-Molecülen:

$$-\,P\quad \underset{+}{H_2}\underset{-}{SO_4}\ \underset{+}{H_2}\underset{-}{SO_4}\ \underset{+}{H_2}\underset{-}{SO_4}\ \underset{+}{H_2}\underset{-}{SO_4}\ \underset{+}{H_2}\underset{-}{SO_4}\quad +\,P \qquad .\ .\ 1)$$

Es wird nun angenommen, dass in jedem H_2SO_4-Molecüle der Wasserstoff positiv, der Bestandtheil SO_4 negativ elektrisch seien und unter dem influenzirenden Einflusse der Pole die in 1) angedeutete Orientirung annehmen. Der negative Pol — P zieht das anliegende + H_2 an sich, welches sofort als Gas in Freiheit gesetzt wird, ebenso zieht + P das anliegende — SO_4 an sich, welches in SO_3 und O zerfällt, welches letztere als Gas frei wird. Die negative Elektrode wirkt dagegen abstossend auf den negativen Bestandtheil — SO_4, welcher nun dem zweiten Schwefelsäuremolecüle sein + H_2 entreisst und sich damit zu SO_4H_2 verbindet, das Analoge erfolgt von Seite des + H_2 am + Pole gegenüber dem — SO_4. In dieser Weise fortschreitend kommt es im Laufe der Strombahn nur zum Austausche der Bestandtheile unter Wiederbildung gleich zusammengesetzter Molecüle, während an den Elektroden je ein Bestandtheil frei wird, wie das Schema 2) zeigt:

$$-\,P\ H_2\quad \underset{-}{SO_4}\underset{+}{H_2}\ \underset{-}{SO_4}\underset{+}{H_2}\ \underset{-}{SO_4}\underset{+}{H_2}\ \underset{-}{SO_4}\underset{+}{H_2}\quad \underset{-}{SO_4}\ +\,P \qquad .\ .\ 2)$$

Hierauf folgt neuerdings die Orientirung der Molecüle nach den Elektroden wie bei 1) und der Process geht so fort.

Diese Erklärungsweise befriedigt aus mehrfachen Gründen nicht, wir haben sie aber deshalb nicht übergangen, weil sie noch heute sehr verbreitet ist. Wir werden an späterer Stelle auf die Theorie der Elektrolyse ausführlich zurückkommen und vor der Hand nur das Thatsächliche mittheilen.

Wenn man das Wasser im Zersetzungsapparate mit viel Schwefelsäure versetzt, so bemerkt man häufig, dass das Volumverhältniss des

Wasserstoffs zum Sauerstoff nicht 2 : 1 ist, sondern dass weniger Sauerstoff entwickelt wird. Es kommt dies daher, dass ein Theil des Sauerstoffs zu Ozon verdichtet wird. In diesem Falle tritt dann an der Kathode immer auch Wasserstoffsuperoxyd auf, wodurch ebenfalls Sauerstoff in Anspruch genommen wird. Hat man Anode und Kathode durch eine poröse Zelle getrennt, so kann man nachher die Anwesenheit von Ozon durch Jodkalium und Stärkekleister, welcher blau gefärbt wird, und die Anwesenheit des Wasserstoffsuperoxyds durch etwas mit Salpetersäure angesäuertes übermangansaures Kali, welches entfärbt wird, nachweisen.

Bei schwacher Ansäuerung und Anwendung hinlänglich grosser Elektrodenflächen tritt kein merklicher Verlust an Sauerstoffgas auf.

123 **Zersetzung der Alkalien durch den galvanischen Strom.** Für die Entwickelung der Chemie von grösster Wichtigkeit war die im Jahre 1807 von Davy mit Hülfe der Säule gemachte Entdeckung der Zerlegbarkeit der Alkalien. Davy fand nämlich, dass die Alkalien und Erden, welche man für einfache Körper gehalten hatte, unter der Einwirkung des galvanischen Stromes in Sauerstoff und ein bis dahin unbekanntes Metall zerfallen. Das Metall des Kalis nannte er Kalium, das des Natrons wurde Natrium genannt. Das Aetzkali ist also Kaliumoxyd, das Aetznatron ist Natriumoxyd.

Kaum waren die ersten unvollständigen Nachrichten über diese Entdeckung verbreitet worden, als man an mehreren Orten den Versuch mit Erfolg wiederholte. Das Wichtigste über diese Versuche findet man im 28. Bande von Gilbert's Annalen. Ermann und Simon in Berlin, Jacquin in Wien publicirten alsbald Näheres über die Art und Weise, wie ihnen die galvanische Zerlegung des Kalis und des Natrons geglückt war, und den Bemühungen von Gay-Lussac und Thénard gelang auch alsbald die Zerlegung dieser Körper ohne Anwendung des galvanischen Stromes auf rein chemischem Wege.

Folgendes ist das Wesentliche des Versuchs: wenn man ein Stückchen Aetzkali, KHO, ebenso feucht, wie es durch Anhauchen wird, zwischen die Pole einer kräftigen Säule bringt, indem man es etwa auf eine Platinplatte legt, die mit dem positiven Pole der Säule verbunden ist und es oben mit einem, den negativen Pol der Säule bildenden Platindrahte berührt, so findet nach kurzer Zeit eine oberflächliche Schmelzung statt; an der positiven Platinplatte entwickeln sich Bläschen von Sauerstoffgas, an dem negativen Platindraht aber erscheinen ausser einzelnen Bläschen von Wasserstoffgas noch kleine Metallkügelchen von silberweisser Farbe und nicht zu verkennendem Metallglanz, die anfänglich flüssig scheinen wie Quecksilber, und sich oft zu grösseren vereinigen. Alsbald aber werden die Kügelchen fest und verlieren durch die Berührung mit der umgebenden Luft ihren Metallglanz. Zieht man, nachdem mehrere solcher Kügelchen sich gebildet haben, den negativen Poldraht von dem Aetzkali zurück, so erstarrt alsbald das noch an dem Draht anhängende Aetz-

kali und in der erstarrten Masse sind dann einzelne Kaliumkügelchen zerstreut. Taucht man den Draht mit den anhängenden Kügelchen in Wasser, so detoniren sie, indem sie sich auf Kosten des Sauerstoffs des Wassers oxydiren, wobei Wasserstoffgas frei wird, welches sogleich wieder verbrennt.

Mit Aetznatron gelingt der Versuch leichter, d. h. die Natriumkügelchen oxydiren sich nicht ganz so leicht, wie die Kaliumkügelchen, wenn man aber den negativen Poldraht mit den anhaftenden Natriumkügelchen in Wasser taucht, so erfolgt keine Detonation, sondern nur eine lebhafte Entwickelung von Wasserstoffbläschen, indem das Natrium sich wieder zu Natron oxydirt.

Wenn sich etwas grössere Kügelchen von Kalium oder Natrium am negativen Poldraht angesetzt haben, so kann man sie vor fernerer Oxydation dadurch schützen, dass man den Draht rasch in rectificirtes Steinöl (eine sauerstofffreie Flüssigkeit) eintaucht und die Kügelchen vom Drahte ablöst.

In der Regel verbreiten sich zahlreiche, äusserst feine Metallkügelchen, von dem negativen Poldrahte sich ablösend, in der geschmolzenen Masse des Alkalis, welches dadurch etwas geschwärzt wird. Wirft man die erstarrte Masse dann in Wasser, so erfolgt eine lebhafte Wasserzersetzung.

Wenn die Masse des Alkalis vollständiger geschmolzen und dadurch der Strom kräftiger geworden ist, so erfolgt die Reoxydation des reducirten Alkalimetalls schon in der Masse meist unter Feuererscheinung. Wenn sich etwas grössere Kügelchen des Alkalimetalls gebildet haben, so ist dann die Verbrennung öfters von einer Detonation begleitet.

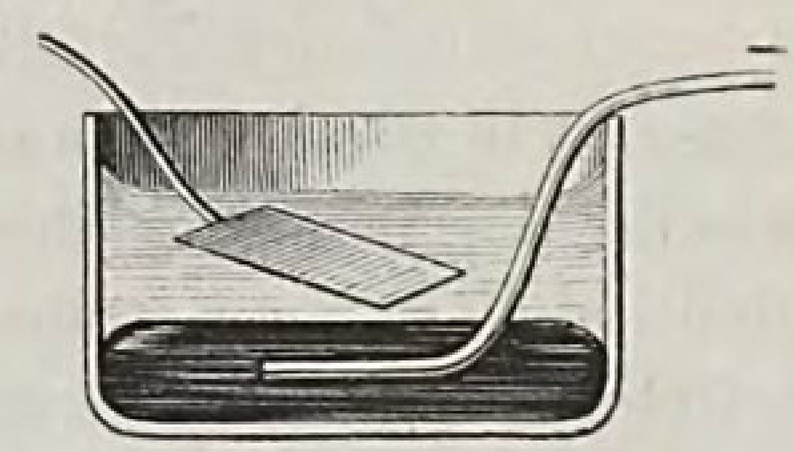
Davy wandte zu seinen Versuchen einen Trogapparat von 250 Plattenpaaren an. Ermann und Simon gebrauchten eine Säule von 60 Plattenpaaren, deren jedes 21 cm Durchmesser hatte. Eine Säule von 10 bis 12 Bunsen'schen Bechern genügt zu diesem Versuche vollkommen.

Seebeck hat ein Mittel angegeben, um das durch die Säule ausgeschiedene Kalium sicherer zu sammeln. In ein Stück kaustischen Kalis, welches zersetzt werden soll, wird eine Höhlung gemacht und Quecksilber in dieselbe gegossen. Das Kali wird dann auf ein mit dem positiven Pole der Säule in Verbindung stehendes Platinstück gelegt, das negative Drahtende aber in das Quecksilber getaucht. Alsbald geht die Zersetzung vor sich; Sauerstoff wird am Platin frei, das Kalium aber verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem ziemlich beständigen Amalgam.

Am leichtesten erhält man das Amalgam der Alkalimetalle auf folgende, Fig. 355 (a. f. S.) dargestellte Weise. Auf den Boden eines Glasgefässes wird Quecksilber gegossen und in dasselbe ein Platindraht eingetaucht, welcher bis auf den unteren horizontal umgebogenen Theil mit Siegellack überzogen ist. Dieser Draht wird mit dem negativen Pol einer

Säule (von etwa 6 bis 10 Zinkkohlenbechern) in Verbindung gebracht. Auf das Quecksilber giesst man nun die concentrirte alkalische Lösung und taucht in dieselbe eine mit dem positiven Pole einer Säule verbundene Platinplatte. Die Zersetzung geht sogleich vor sich und das Kalium wird von dem Quecksilber unter beträchtlicher Temperaturerhöhung aufgenommen. Dieses Amalgam erstarrt beim Erkalten. Durch Abdestilliren des Quecksilbers im luftfreien Raume kann daraus das Kalium gewonnen werden.

Fig. 355.



Nachdem man die Alkalien als Metalloxyde erkannt hatte, war kein Zweifel mehr, dass auch die alkalischen Erden, Kalkerde, Baryterde, Bittererde (Magnesia) etc., oxydirte Metalle seien.

Davy erhielt im Jahre 1808 das metallische Radical der Baryterde, das Baryum, indem er aus Baryterde oder kohlensaurem Baryt und Wasser einen Teig bildete, und diesen auf ein mit dem positiven Pole der Säule verbundenes Platinblech legte, sodann in eine Vertiefung im Teig etwas Quecksilber goss und in dieses den negativen Pol der Säule eintauchte. — Das so erhaltene Amalgam wurde durch Erhitzen in einer gebogenen und mit Steinöldampf gefüllten Röhre von Quecksilber befreit.

124 Galvanische Zersetzung geschmolzener Chlormetalle.

Wenn man die Chlormetalle im geschmolzenen Zustande dem Strom aussetzt, so werden sie gleichfalls zersetzt und zwar in der Art, dass das Chlor am positiven, das Metall am negativen Pole ausgeschieden wird. Faraday stellte den Versuch in der Weise an, dass er das Chlormetall, z. B. Chlorsilber oder Chlorblei, auf einer Glasplatte oder in einer U-förmig gebogenen Glasröhre durch eine Weingeistlampe schmolz und dann die Poldrähte in das geschmolzene Salz eintauchte. Wenn das am positiven Pol austretende Chlorgas die Substanz dieses Poles angreift, so kann es nicht als Gas entweichen, sondern es verbindet sich mit dem Metall. Taucht man z. B. silberne Poldrähte in geschmolzenes Chlorsilber, so wird der positive Pol in dem Maasse aufgelöst, in welchem sich metallisches Silber an dem anderen Poldrahte ansetzt.

Bunsen hat auch die leicht oxydirbaren Metalle der Alkalien und Erden aus ihren geschmolzenen Chlorverbindungen galvanisch abgeschieden. — Er hat gezeigt, dass man in den meisten Fällen nur durch grosse Stromdichtigkeit am negativen Pole zum Ziele gelangt; um aber den Strom am negativen Pole möglichst zusammenzudrängen, ist es nothwendig, die Oberfläche des negativen Poles möglichst zu reduciren, was Bunsen dadurch erreicht, dass er als negativen Pol nicht Platinplatten, sondern Platin- oder Eisendrähte anwandte.

Der Einfluss der Stromdichtigkeit am negativen Pole ist leicht zu verstehen. Wenn ein kräftiger Strom am negativen Pole auf einen kleinen Querschnitt zusammengedrängt ist, so ist auch die der Stromstärke entsprechende Metallreduction auf einen kleinen Raum zusammengedrängt, so dass die dicht neben einander ausgeschiedenen Metallkügelchen sich eher zu etwas grösseren Stücken vereinigen können. Wenn dagegen bei gleicher Stromstärke die negative Polplatte eine grosse Oberfläche hat, so wird die gleiche reducirte Metallmenge auf einen grösseren Raum ausgebreitet, sie kann also überall nur in feinst-vertheiltem Zustande auftreten, wodurch eine Reoxydation begünstigt und die Vereinigung zu etwas grösseren zusammenhängenden Stücken erschwert wird.

Unter Bunsen's Leitung hat Matthiessen mehrere derartige Reductionen ausgeführt. Die Darstellung des Calciums gelang am besten auf folgende Weise: Ein Gemisch von zwei Aequivalenten Chlorcalcium mit einem Aequivalent Chlorstrontium und Chlorammonium wird in einem kleinen Porcellantiegel geschmolzen und in die geschmolzene Masse ein Bunsen'sches Kohlenstück als positiver Pol eingetaucht, während als negativer Pol der ungefähr aus sechs Zinkkohlenbechern bestehenden Säule ein an einem dickeren Drahte befestigter und nur 4 mm tief in die Flüssigkeit eingetauchter Klaviersaitendraht dient. Die Flamme unter dem Tiegel wird so regulirt, dass die Masse um den negativen Poldraht herum oben etwas erstarrt und eine kleine schützende Kruste bildet. Ungefähr alle drei Minuten wird der Draht sammt der anhängenden Kruste herausgenommen, um unter Steinöl die daran sitzenden Calciumkörnchen abzusondern.

Das so dargestellte Calcium hat die Farbe des Glockenmetalls, zeigt, frisch angefeilt, ausgezeichneten Glanz, ist sehr ductil, aber in ausgehämmerten Stücken spröde. In vollkommen trockener Luft erhält sich das Calcium oft Tage lang ohne anzulaufen, in feuchter Luft überzieht es sich aber bald mit einer grauen Schicht und verwandelt sich allmälig in Kalkhydrat.

Auf dieselbe Weise lässt sich auch Natrium aus geschmolzenem Kochsalz darstellen und Lithium aus einer geschmolzenen Masse von Chlorlithium reduciren; die am negativen Eisendraht sich bildende Lithiumkugel kann man, da sie durch eine Schicht geschmolzenen Chlorlithiums vor Oxydation geschützt bleibt, mittelst eines kleinen löffelförmigen Spatels sammt dem Eisendraht herausnehmen und unter Steinöl vom Draht ablösen.

Das Lithium ist silberweiss, auf der frischen Schnittfläche läuft es aber sofort gelblich an; sein specifisches Gewicht ist als Mittel aus zwei Bestimmungen 0·594. Das Lithium ist sehr zähe und lässt sich zu Draht ausziehen, seine Festigkeit ist aber geringer als die des Bleies.

Magnesium wird am leichtesten aus einer Mischung von nahezu gleichem Gewichte Chlorkalium und Chlormagnesium erhalten. Da das

Magnesium specifisch schwerer ist als die geschmolzene Mischung, so kann man den negativen Poldraht im unteren Ende der Zerlegungszelle anbringen, was am leichtesten auf folgende Weise bewerkstelligt wird.

Man steckt durch die Röhre einer irdenen Pfeife einen Eisendraht so in dieselbe ein, dass er noch 2 bis 4 mm in den Kopf hineinragt, wie Fig. 356 zeigt. Das in den Pfeifenkopf eingefüllte Gemisch wird geschmolzen und dann in dasselbe ein mit dem positiven Pole der Säule verbundenes Stück Kohle eingetaucht, während der Eisendraht mit dem negativen Pole der Säule in Verbindung gebracht wird.

An dem Kohlenpole findet eine lebhafte Chlorentwickelung statt. Nachdem der Strom ungefähr eine halbe Stunde lang durch die geschmolzene Masse hindurch geleitet worden ist, wird er unterbrochen und der Pfeifenkopf zerschlagen; man findet dann zahlreiche ziemlich grosse Körnchen von Magnesium in der erstarrten Salzmasse.

Um noch grössere Mengen von Magnesium zu erhalten, muss man die entstandenen Kügelchen am Aufsteigen verhindern. Man erreicht dies durch einen Kunstgriff von Bunsen, indem man als Kathode ein sägeförmig eingeschnittenes Kohlenstück, Fig. 357, verwendet, in dessen

Fig. 356.

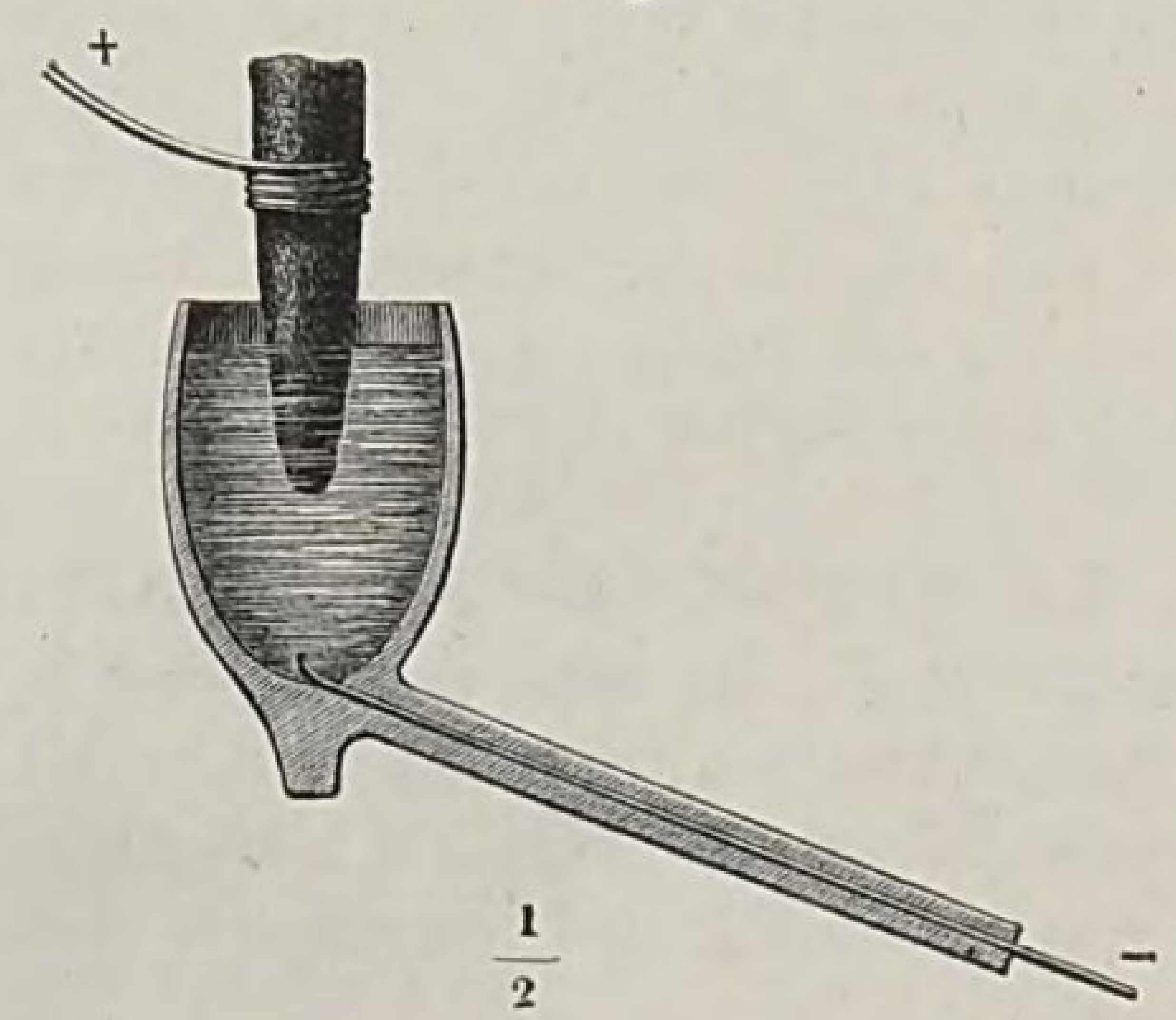
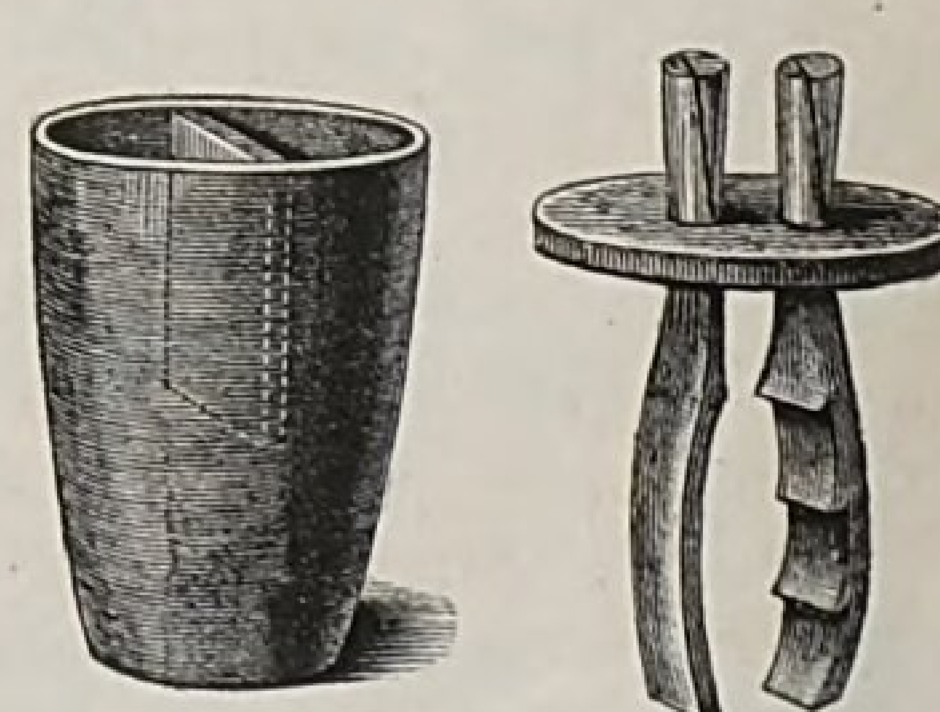


Fig. 357.



einspringenden Winkeln sich die Metallkügelchen beim Aufsteigen fangen. Dieselben werden erst nach dem Erkalten aus der zerschlagenen Masse ausgelöst.

Gemenge verschiedener Chlormetalle werden zu diesen Versuchen vorzüglich deshalb angewandt, weil sie schon bei einer niedrigeren Temperatur schmelzen als die einzelnen Chlormetalle.

125 **Galvanische Zersetzung gelöster Salze.** Bei der Elektrolyse von Salzlösungen werden zunächst die Salze in derselben Weise zersetzt wie im geschmolzenen Zustande, indem an der Kathode das Metall, an der Anode der Rest der Elemente (Säure und Sauerstoff) abgeschieden werden. In der Regel kommt es aber nicht zu einem Frei-

werden dieser Jonen, sondern es treten in Folge **secundärer Processe** andere indirecte Zersetzungsproducte auf. Die secundären Processe können ziemlich mannigfaltiger Art sein, weshalb wir uns hier darauf beschränken, eine Anzahl Haupttypen der Elektrolyse der Salzlösungen durch Beispiele zu erläutern.

I. **Typus.** Das Salz zerfällt einfach in seine beiden Bestandtheile, welche sich an den Elektroden, ohne secundäre Processe einzuleiten, ausscheiden. So z. B. zerfallen Chlorzink, Chlorblei und andere in concentrirter Lösung in Metall (Kation) und freies Chlor (Anion), welches letztere sich an der Anode, falls dieselbe aus Kohle besteht, gasförmig ausscheidet, theilweise auch in der Flüssigkeit löst.

II. **Typus.** Der Strom zersetzt das Salz in Metall (Kation) und in den Rest der Elemente (Anion). Das letztere wirkt chemisch auf das lösende Wasser und zerfällt hierbei in Säurehydrat und Sauerstoff.

Beispiel: Schwefelsaures Kupferoxyd zwischen Platinelektroden.

	Kation	$Cu\,SO_4$	Anion
Stromwirkung	Cu		SO_4
Secundärer Process	—		$SO_4 + H_2O$ $= H_2SO_4 + O$

Man kann sich vorstellen, dass SO_4 zuerst in SO_3 und O zerfalle und dann SO_3 mit H_2O in Verbindung trete. Ebenso zerfallen viele andere Salze der Sauerstoffsäuren, deren Metalle nicht für sich allein das Wasser zersetzen.

III. **Typus.** Der Strom zersetzt das Salz normal in Metall und den Rest, die **beiden** entstandenen Jonen zersetzen hierauf das Lösungsmittel.

Beispiel: Schwefelsaures Natron zwischen Platinelektroden.

	Kation	$Na_2\,SO_4$	Anion
Stromwirkung	Na_2		SO_4
Secundäre Processe	$Na_2 + 2\,H_2O$ $= H_2 + 2\,(NaHO)$		$SO_4 + H_2O$ $= H_2SO_4 + O$

Wasserstoff und Sauerstoff werden als Gase frei, Natronhydrat und Schwefelsäurehydrat lösen sich in der Nähe der Elektroden.

Dieselbe oder analoge Zerlegung erleiden alle schwefelsauren und salpetersauren Salze der Alkalimetalle, sowie die verdünnten Lösungen ihrer Chlorverbindungen.

IV. Typus. Der Strom zersetzt das Salz normal in Metall und den Rest, von den entstandenen Jonen verbindet sich das eine oder das andere mit dem Elektrolyten, d. h. mit dem gelösten Salze.

Beispiel *a*: Zinnchlorür in concentrirter Lösung.

	Kation	$Sn\,Cl_2$	Anion
Strom-wirkung	Sn		Cl_2
Secundärer Process	—		$Cl_2 + Sn\,Cl_2 = Sn\,Cl_4$

Das ausgeschiedene Chlor verbindet sich mit dem Zinnchlorür zu flüchtigem Zinnchlorid.

Beispiel *b*: Kupferchlorid (Anode aus Kohle).

	Kation	$Cu\,Cl_2$	Anion
Strom-wirkung	Cu		Cl_2
Secundärer Process	$Cu + Cu\,Cl_2 = Cu_2\,Cl_2$		—

Das ausgeschiedene Kupfer verbindet sich mit dem Kupferchlorid zu Kupferchlorür.

V. Typus. Indem der Strom in normaler Weise das Salz in Metall und den Rest zersetzt, tritt dieser Rest mit dem Salz in Wechselzersetzung.

Beispiel: Salpetersaures Silberoxyd (concentrirte Lösung), Anode von Platin.

	Kation	$Ag\,N\,O_3$	Anion
Strom-wirkung	Ag		$N\,O_3$
Secundärer Process	—		$N\,O_3 + Ag\,N\,O_3 = N_2\,O_5 + Ag\,O$

Die Gruppe $N\,O_3$ setzt sich mit $Ag\,N\,O_3$ in $N_2\,O_5$ (Salpetersäure) und $Ag\,O$ (Silbersuperoxyd) um. Das Silber scheidet sich an der Kathode in Form glänzender Krystalle in dendritischer Form (Dianenbaum) aus, das Silbersuperoxyd erscheint als schwarzes krystallinisches Pulver, $N_2\,O_5$ verbindet sich mit Wasser zu Salpetersäurehydrat. In verdünnten Lösungen entsteht an der Anode nur Salpetersäure und Sauerstoff.

Aehnliche Zersetzungen bei essigsaurem Bleioxyd und den entsprechenden Salzen des Kobalts, Nickels, Mangans, Wismuths etc.

VI. Typus. Unter normaler Zersetzung des Salzes wird durch das abgeschiedene Anion die Anode oxydirt und gelöst.

Beispiel *a*: Kupfervitriol zwischen Kupferelektroden.

	Kation	$CuSO_4$	Anion
Stromwirkung	Cu		SO_4
Secundärer Process	—		$SO_4 + Cu$ $= CuSO_4$

In diesem Falle wird durch den secundären Process die Stromwirkung insofern aufgehoben, als der ursprüngliche Elektrolyt wieder gebildet wird. Es muss jedoch die Lösung in der Nähe der Kathode ärmer an dem gelösten Salze werden, so dass die Stromwirkung in einer Uebertragung des Metalls von Anode zu Kathode und in einer umgekehrten Uebertragung des gelösten Salzes besteht. Derselbe Fall findet statt bei Zerlegung von Silber-, Zink-, Bleisalzen zwischen Platten desselben Metalls.

Beispiel *b*. Zinkvitriol zwischen Kupferelektroden.

	Kation	$ZnSO_4$	Anion
Stromwirkung	Zn		SO_4
Secundärer Process	—		$SO_4 + Cu$ $= CuSO_4$

Der Fall ist dem vorigen ganz analog, da jedoch das Anodenmetall von dem des gelösten Salzes verschieden ist, so kommt es zu einer theilweisen Verdrängung des letzteren durch das entsprechende Salz des Anodenmetalls.

VII. Typus. Das Salz wird normal zersetzt, das ausgeschiedene Anion oxydirt und löst die Anode, das ausgeschiedene Kation reducirt die Kathode.

Beispiel: Lösung von Chlorzink zwischen Zink als Anode und Chlorsilber als Kathode.

	Kation	$ZnCl_2$	Anion
Stromwirkung	Zn		Cl_2
Secundärer Process	$2\,(AgCl) + Zn$ $= 2\,Ag + ZnCl_2$		$Cl_2 + Zn$ $= ZnCl_2$

Hier wird also unter Abscheidung des metallischen Silbers aus dem Chlorsilber, welches als Kathode diente, das Zink der Anode gelöst und das ursprünglich gelöste Salz rückgebildet. Der Process verläuft analog, wenn man statt des Zinkchlorids von Anfang an verdünnte Salzsäure oder Schwefelsäure anwendet. Verbindet man das ausgeschiedene Silber oder auch das noch unzersetzte Chlorsilber ausserhalb der Zersetzungszelle metallisch mit dem Zink, so erhält man ein Element (Pincus), welches selbst den Strom liefert, wodurch der obige Process entsteht. Darauf beruht eine bekannte Methode der Chemiker, das Chlorsilber auf galvanischem Wege zu Silber zu reduciren.

VIII. Typus. Der Strom scheidet an der Kathode das Metall ab, welches daselbst das Wasser zersetzt, an der Anode zerfällt der Rest der Elemente in mehrere Gruppen.

Beispiel: Essigsaures Kali.

Strom-wirkung	Kation	$K\,C_2\,H_3\,O_2$	Anion
	K		$C_2\,H_3\,O_2$
Secundärer Process	$K + H_2O$		$C_2\,H_3\,O_2 = C\,H_3 + C\,O_2$
	$= H + K\,H\,O$		Methylgas, Kohlensäure

Die Zersetzung der Salze sogenannter organischer Säuren verläuft häufig nach diesem, oft auch nach einem noch complicirteren Schema, indem eine Reihe von secundären Reactionen die primäre Zersetzung durch den Strom begleiten.

Die hier vorgeführten Typen geben nur eine Uebersicht der häufigsten elektrolytischen Processe, deren noch viele andere mehr oder weniger mannigfaltige bekannt sind. Ihr Studium hat jedoch mehr Interesse für den Chemiker als für den Physiker.

Nach W. Hittorf werden von allen chemischen Verbindungen stets nur diejenigen zersetzt, welche den Charakter eines Salzes besitzen. Dabei werden unter dem Namen Salze diejenigen Verbindungen verstanden, „deren Moleküle erfahrungsgemäss in flüssigem Zustande, insbesondere in Lösung, bestimmte Theilbestandtheile stets mit denen gleich constituirter Verbindungen austauschen“. Die bei der Elektrolyse auftretenden Jonen sind dieselben Theilbestandtheile, welche bei chemischen Umsetzungen eine Rolle spielen (Hittorf in Wiedem. Ann. 1878, S. 374).

Recht instructiv ist in dieser Richtung die Elektrolyse gewisser Doppelsalze, z. B. Cyansilberkalium ($Ag\,Cy + K\,Cy$), Natriumplatinchlorid ($Pt\,Cl_2 + Na\,Cl$). Nach der älteren, von Hittorf bekämpften Berzelius'schen Theorie, nach welcher stets die sogenannten elektropositiven Elemente zur Kathode, die elektronegativen zur Anode

wandern, wäre zu erwarten, dass obige Doppelsalze sich nach folgenden Schematen zersetzen:

$$\overbrace{\mathrm{Ag,\ K} \qquad\qquad\qquad\qquad 2\,\mathrm{Cy}}^{\mathrm{Ag\,Cy} \,+\, \mathrm{K\,Cy}}$$

$$\overbrace{\mathrm{Pt,\ Na} \qquad\qquad\qquad\qquad 3\,\mathrm{Cl}.}^{\mathrm{Pt\,Cl_2} \,+\, \mathrm{Na\,Cl}}$$

Statt dessen erfolgt die Zerlegung durch den Strom in der Weise, dass K, Na nach der Kathode wandern, während $Ag\,Cy_2$, $Pt\,Cl_3$ zur Anode gehen. Genau in dieselben Bestandtheile werden aber diese Doppelsalze auch bei rein chemischen Umsetzungen gespalten.

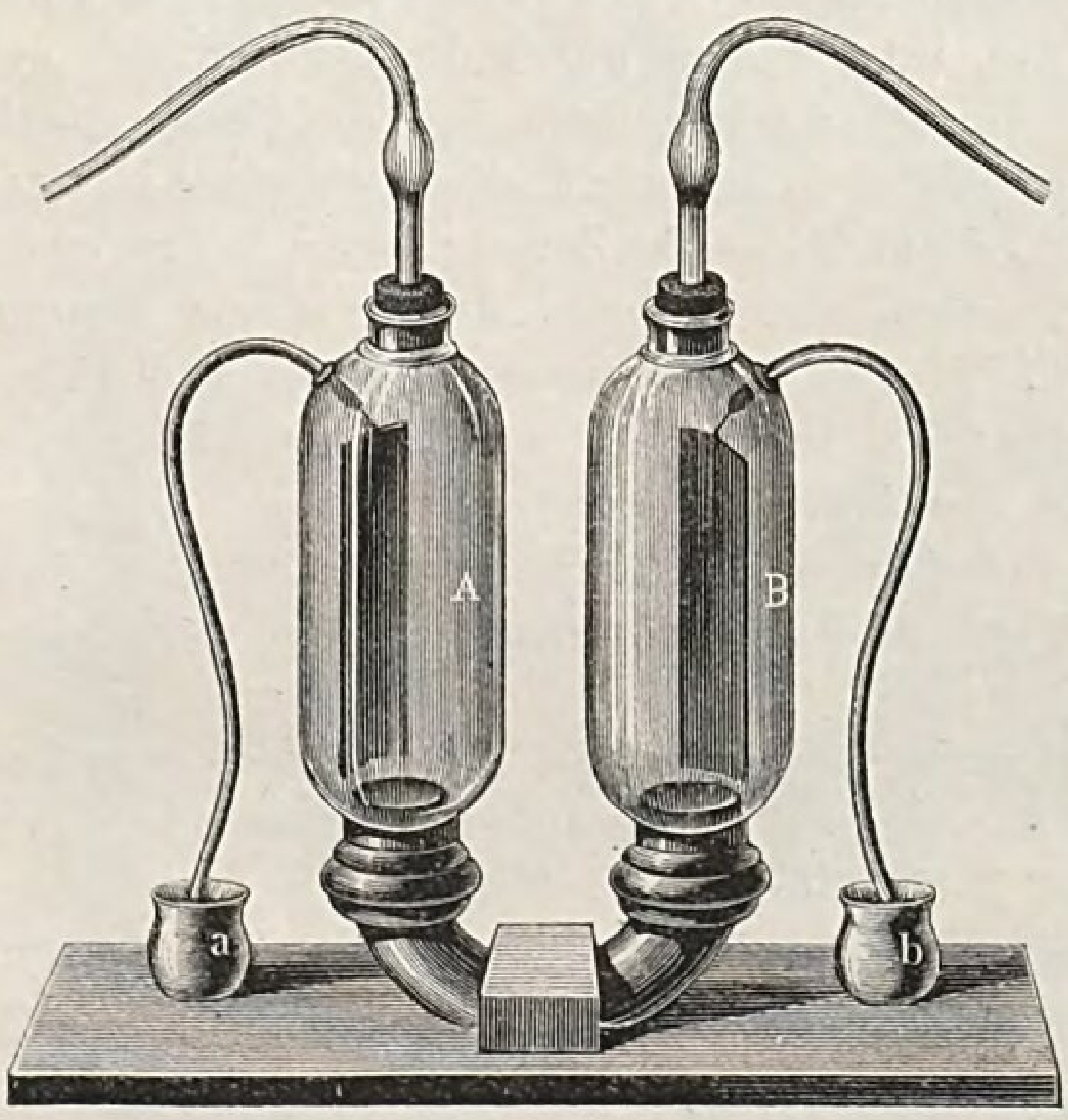
Wenn es mittelst der Lösung des ersteren Doppelsalzes dennoch gelingt, die Kathode zu versilbern, so geschieht dies nur vermöge einer secundären, rein chemischen Action, indem das ausgeschiedene Kalium aus der Lösung des Salzes das Silber verdrängt.

Experimente über die Elektrolyse der Salzlösungen. 126

Um die bei der Elektrolyse der Salzlösungen auftretenden Zersetzungsproducte getrennt auffinden und quantitativ bestimmen zu können, muss man dafür Sorge tragen, dass sie sich nicht wieder vermischen, bevor sie untersucht sind.

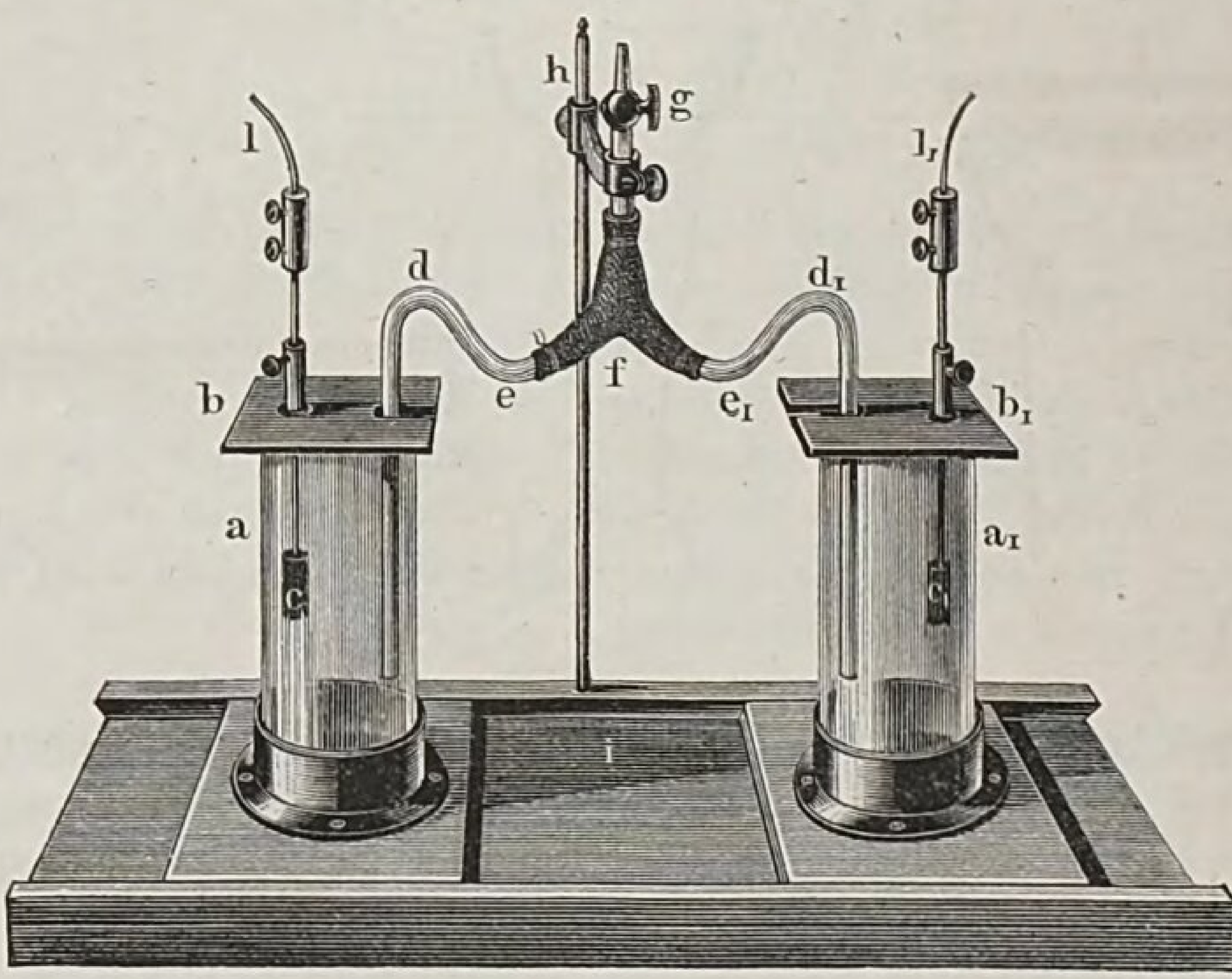
Fig. 358 zeigt einen von Daniell hierzu construirten Apparat, bestehend aus den Glasgefässen *A* und *B*, welche die Elektroden aus Platinblech enthalten und unten durch ein ◡-förmiges beiderseits mit Thierblase geschlossenes Glasrohr verbunden sind. Oben sind engere Glasröhren eingesetzt, um entwickelte Gase abzuführen. Sicherer gelingt die Trennung der Zersetzungsproducte durch den Apparat von G. Wiedemann, Figur 359 (a. f. S.). In jedes der beiden Gefässe *a* und a_1 war ein Glasrohr eingesetzt, welches oben gebogen war, wie es unsere Figur zeigt. Diese beiden Glasröhren waren dann durch einen Kautschukschlauch verbunden, in welchen oben ein Glashahn eingesetzt war. Um den so gebildeten Heber

Fig. 358.



zu füllen, wurde der Glashahn geöffnet und dann die Flüssigkeit aufgesaugt, bis die Glasröhren sammt dem Kautschukschlauch ganz gefüllt

Fig. 359.



waren. — Nach Beendigung der Elektrolyse wurde der Hahn geöffnet und es fiel nun der Inhalt eines jeden Rohres in sein Gefäss zurück, ohne dass ein Ueberströmen aus einem Gefäss in das andere stattfinden konnte.

Hittorf verwendete Apparate, wie sie durch die Figuren 360 und 361 dargestellt sind. Die einzelnen Glasgefässe sind am Boden durch Thierblasen geschlossen und mittelst Kautschuk dicht in einander gesteckt. Der Apparat Fig. 360 dient für solche Zersetzungen, bei welchen kein Gas entwickelt wird, indem die Kathode A aus einem Metalle besteht, welches gelöst wird. Fig. 361 wird angewendet, wenn die Gasentwickelung nicht zu vermeiden ist. Nach vollendeter Elektrolyse können die einzelnen Theile des Apparates getrennt werden. Die Zersetzungsproducte werden dann durch chemische Operationen in dem obersten und untersten Gefässe des Apparates ermittelt und der Menge nach bestimmt.

Zum Zwecke eines Vorlesungsversuches lässt sich die Zerlegung der Salze nach dem Typus III. des vorigen Paragraphen auf folgende Weise sehr gut sichtbar machen. Man fülle eine U-förmig gebogene Röhre, Fig. 362 oder Fig. 363, mit einer Salzlösung, etwa mit einer Lösung von Glaubersalz, die durch etwas Malventinctur violett gefärbt ist. Taucht man nun auf der einen Seite die positive, auf der anderen die negative Polplatte in die Flüssigkeit, so tritt eine Gasentwickelung an beiden Polen ein, zugleich aber wird die Flüssigkeit am positiven Pole roth, am negativen grün gefärbt.

Giesst man eine Salzlösung in zwei neben einander stehende Gefässe, die durch ein feuchtes Asbestgewebe oder durch einen mit der Flüssig-

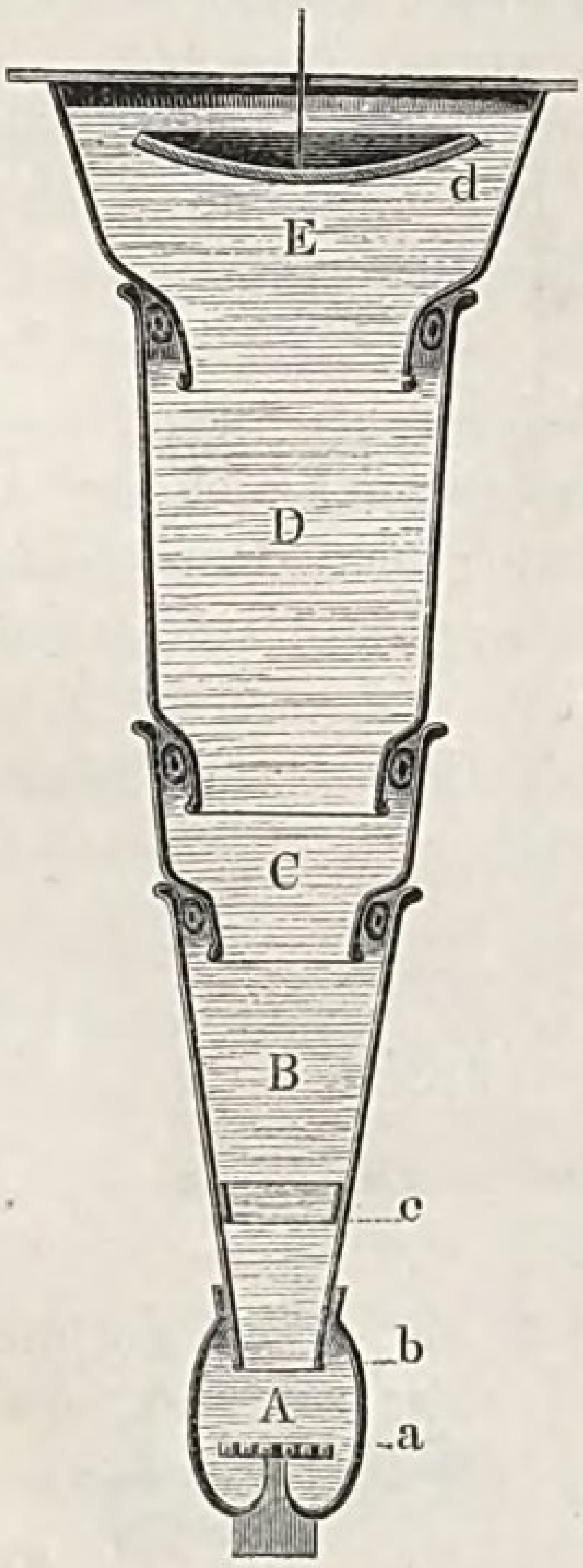
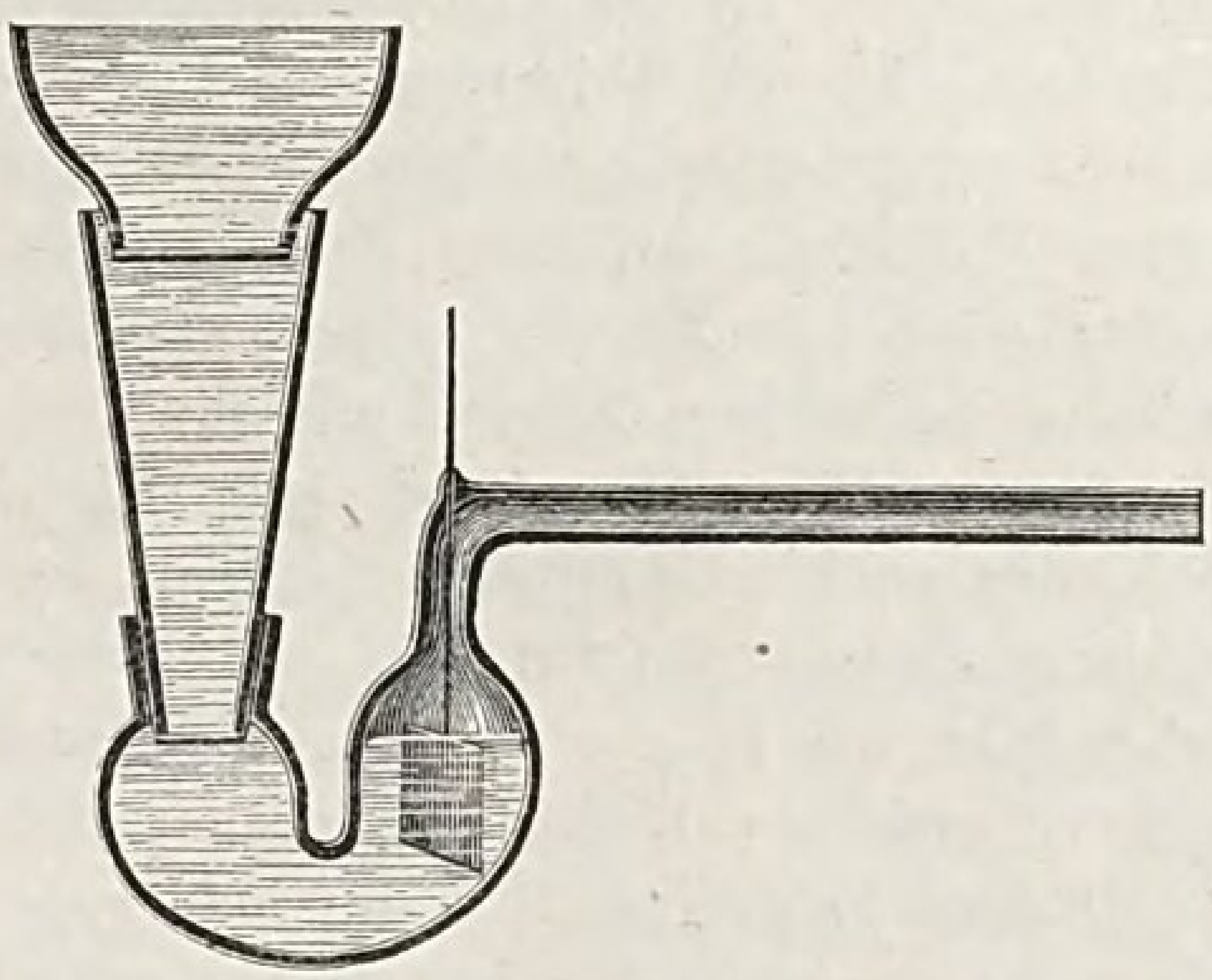


Fig. 360.


Fig. 361.

keit gefüllten Heber verbunden sind, taucht man dann in das eine Gefäss den positiven, in das andere den negativen Poldraht, so geht die Zersetzung ebenfalls vor sich, und nach einiger Zeit findet sich freie Säure in dem Gefässe, in welchem der positive Draht eingetaucht ist, freies Alkali im anderen.

Die Zersetzung des salpetersauren Silbers, des essigsauren Bleies u. dergl. nach dem Typus V. kann man in einem Auditorium vielen Zuschauern zugleich am besten dadurch zeigen, dass man die ganze Zersetzungszelle nebst deren inneren Vorgängen mittelst des Projections-

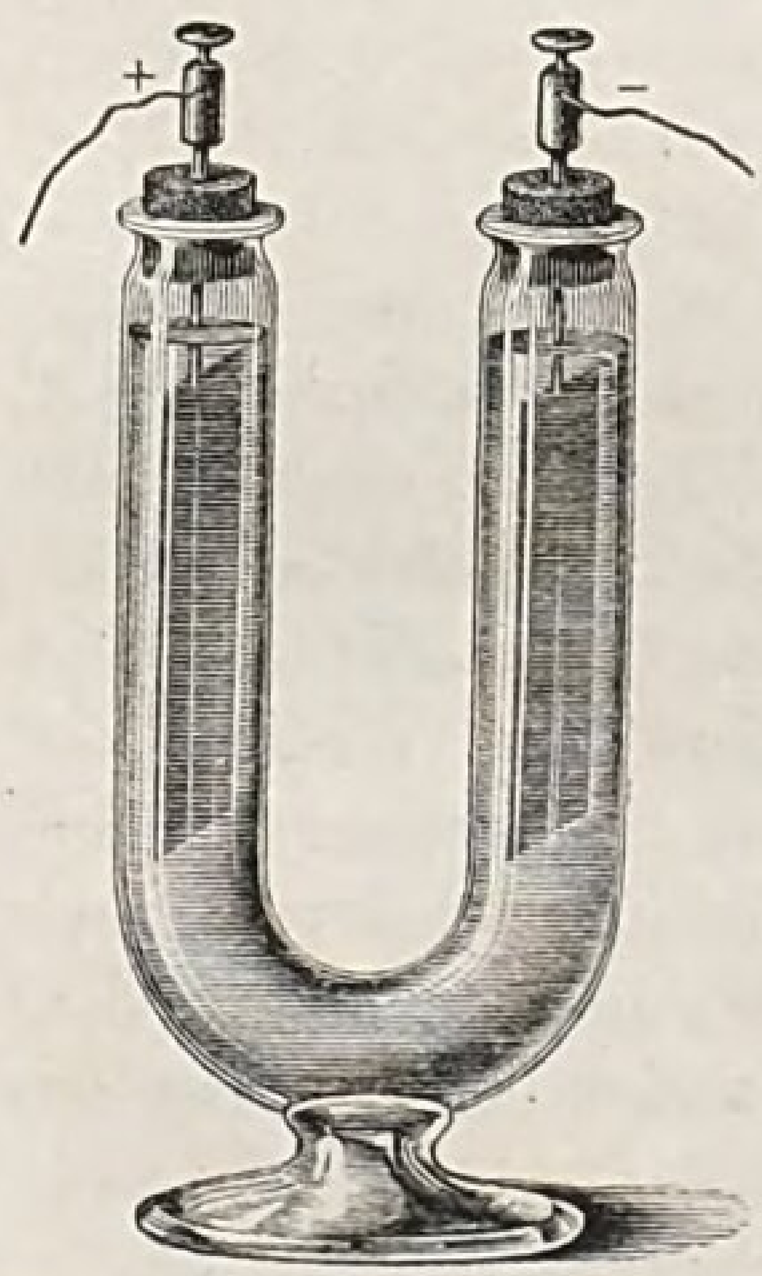
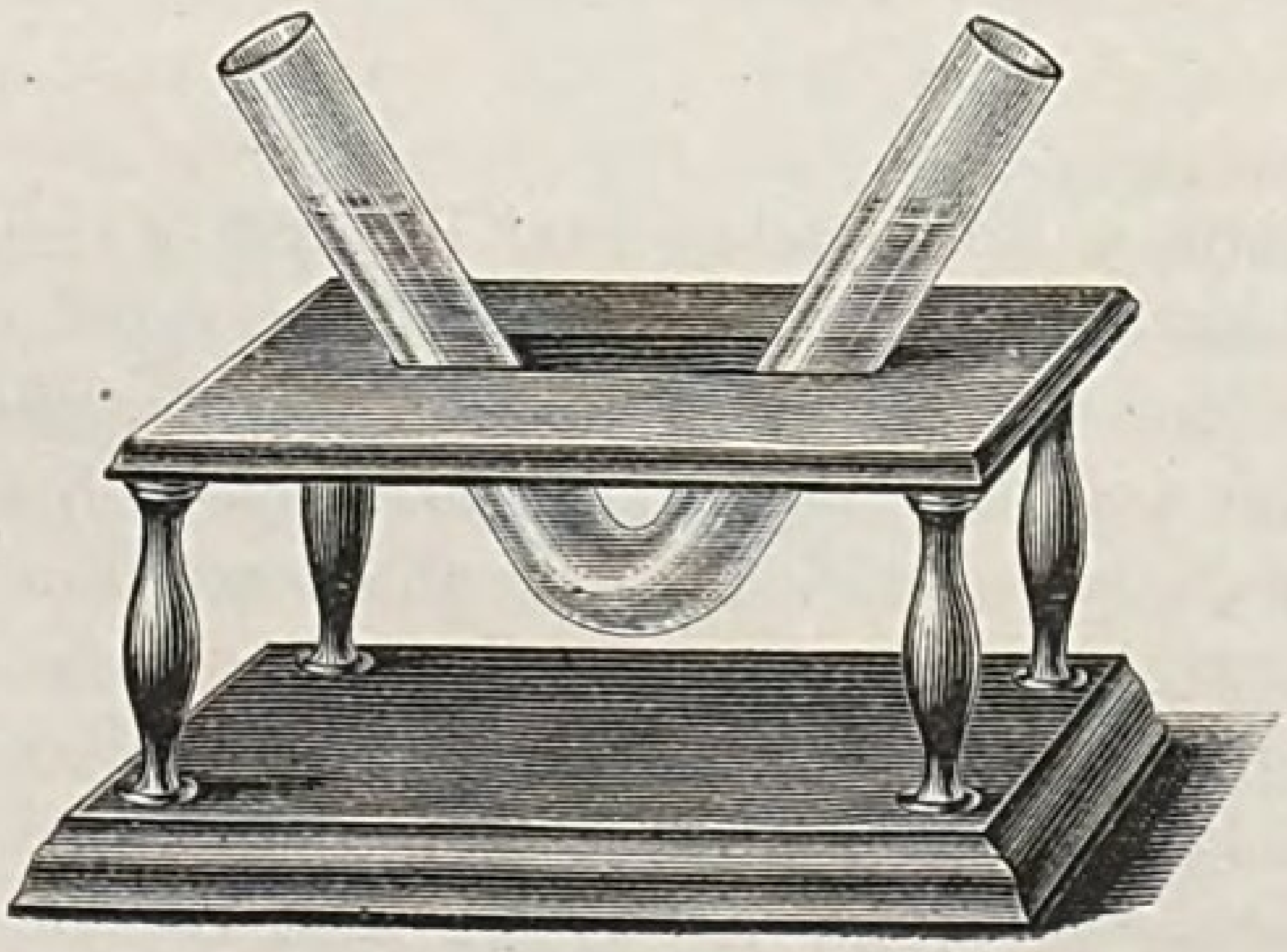


Fig. 362.


Fig. 363.

apparates (Band II, 1, Seite 385) auf einen weissen Schirm projicirt. Man bedient sich hierzu einer aus Glastheilen zusammengefügten flachen Zelle, Fig. 364, in welche man die Elektrodendrähte mittelst Korkstückchen, durch welche sie hindurchgeführt sind, einhängt. Stellt man die Zelle dann in den Objectenraum der Projectionslampe, so erhält man ein sehr vergrössertes verkehrtes Bild der Elektroden und der elektrolytischen Vorgänge auf dem Projectionsschirme. Bei Anwendung einer concentrirten Lösung von salpetersaurem Silberoxyd erscheinen an der Kathode prächtige Krystallausscheidungen von metallischem Silber (Dianenbaum), an der Anode (von Platin) krystallinisches Silbersuperoxyd oder auch Sauerstoffgas. Noch schöner repräsentirt sich der sogenannte Saturnbaum, das ist krystallinisch ausgeschiedenes metallisches Blei, wie man es erhält, indem man eine Lösung von essigsaurem Bleioxyd zwischen Bleielektroden zersetzt.

Diesem Experimente kann man eine recht niedliche Form dadurch geben, dass man in die Zersetzungszelle, Fig. 364, mittelst eines keil-

Fig. 364.

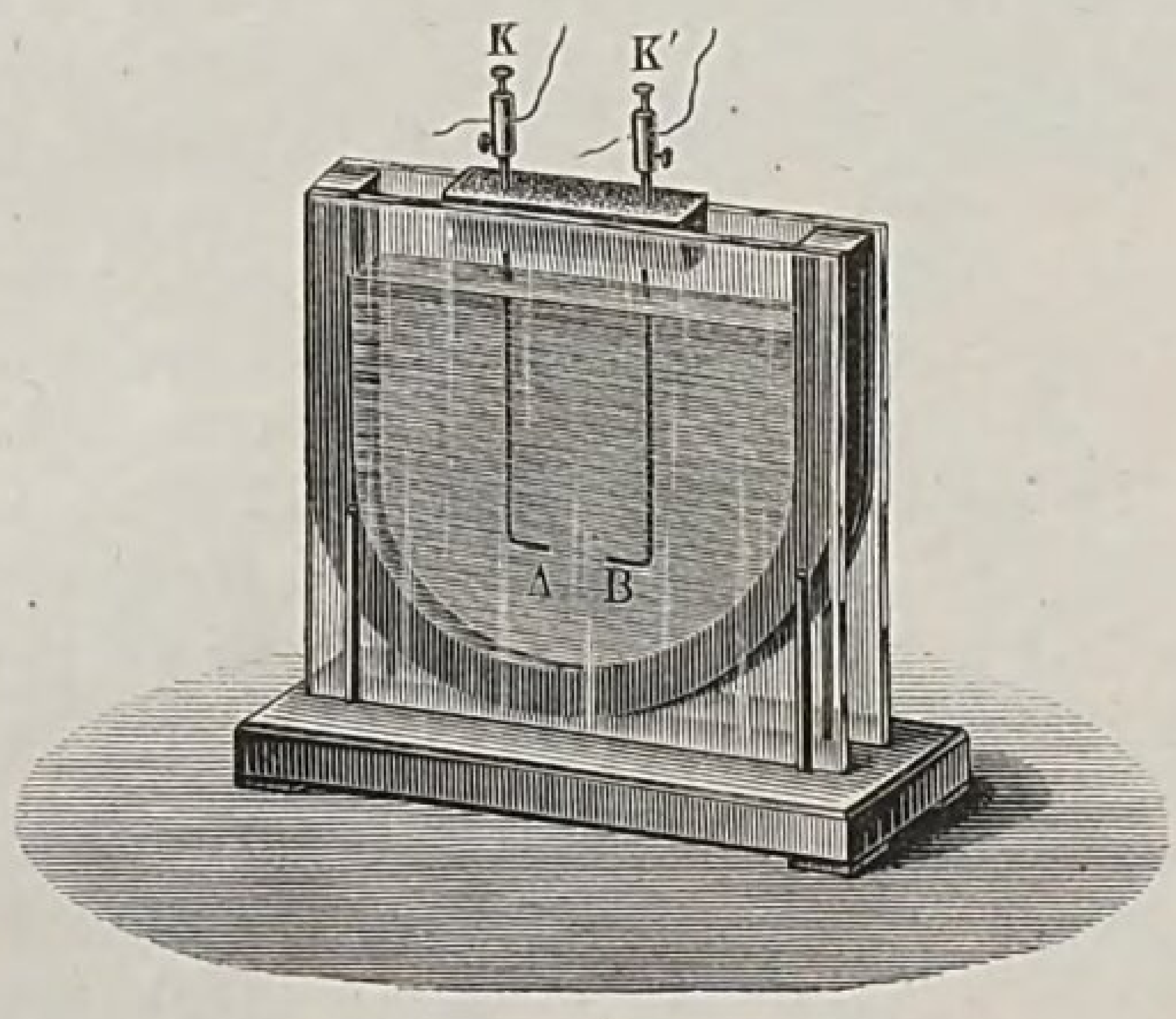
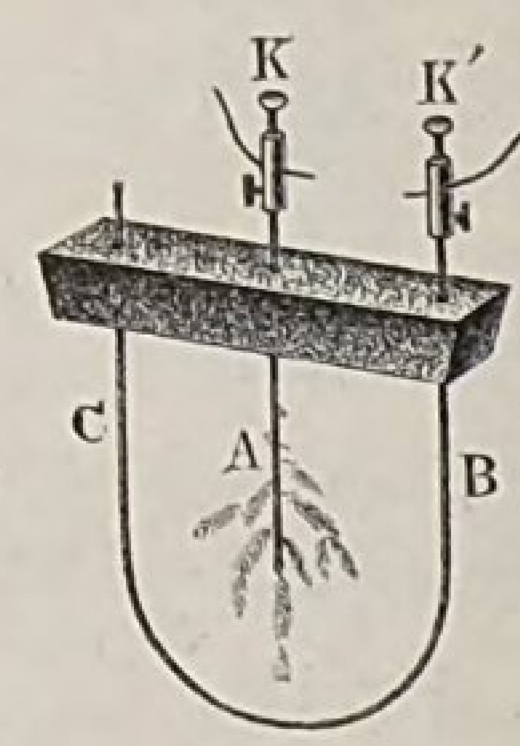


Fig. 365.



förmigen Korkstückes zwei Bleidrähte einführt, von denen der eine, *A*, in der Mitte gerade gestreckt ist, der andere, *B C*, in Form eines Bogens herumgeführt ist (Fig. 365). Füllt man hierauf die Bleizuckerlösung bis nahe zum Korke ein und lässt einen Strom vom Bogen *B C* nach *A* gehen, so entwickeln sich an dem Strom *A* sofort nach abwärts und seitwärts sich verästelnde Zweige, welche auf dem Schirme wegen Umkehrung des Bildes als wachsender Baum erscheinen. Kehrt man dann die Stromrichtung um, so werden die Zweige wieder verzehrt und es bilden sich dafür am Bogen *B C* Zweige aus, welche demselben das Ansehen einer Laube geben.

Faraday's elektrolytisches Gesetz; Silbervoltameter. 127

Wir haben bisher die Zersetzungserscheinungen verfolgt, insoweit sie in je einer einzigen Zersetzungszelle vor sich gehen. Es ist unmittelbar klar, dass die hierbei ausgeschiedenen Jonen zu einander in denselben Mengenverhältnissen stehen müssen, wie sie in den Verbindungen vorkommen, also in stöchiometrischen Verhältnissen. Eine andere Frage geht nun dahin, in welchen Mengenverhältnissen jene Bestandtheile stehen, welche durch einen und denselben Strom in verschiedenen Elektrolyten ausgeschieden werden. Hierüber hat Faraday im Jahre 1833 ein wichtiges Gesetz entdeckt, welches häufig das Gesetz der festen elektrolytischen Action, meistens kurz das Faraday'sche Gesetz genannt wird. Dasselbe lässt sich in einfachster Form so aussprechen: die durch denselben Strom zersetzten Mengen verschiedener Elektrolyte sind unter sich äquivalent. Hieraus folgt dann selbstverständlich auch, dass die durch denselben Strom ausgeschiedenen Mengen der Jonen unter sich äquivalent seien.

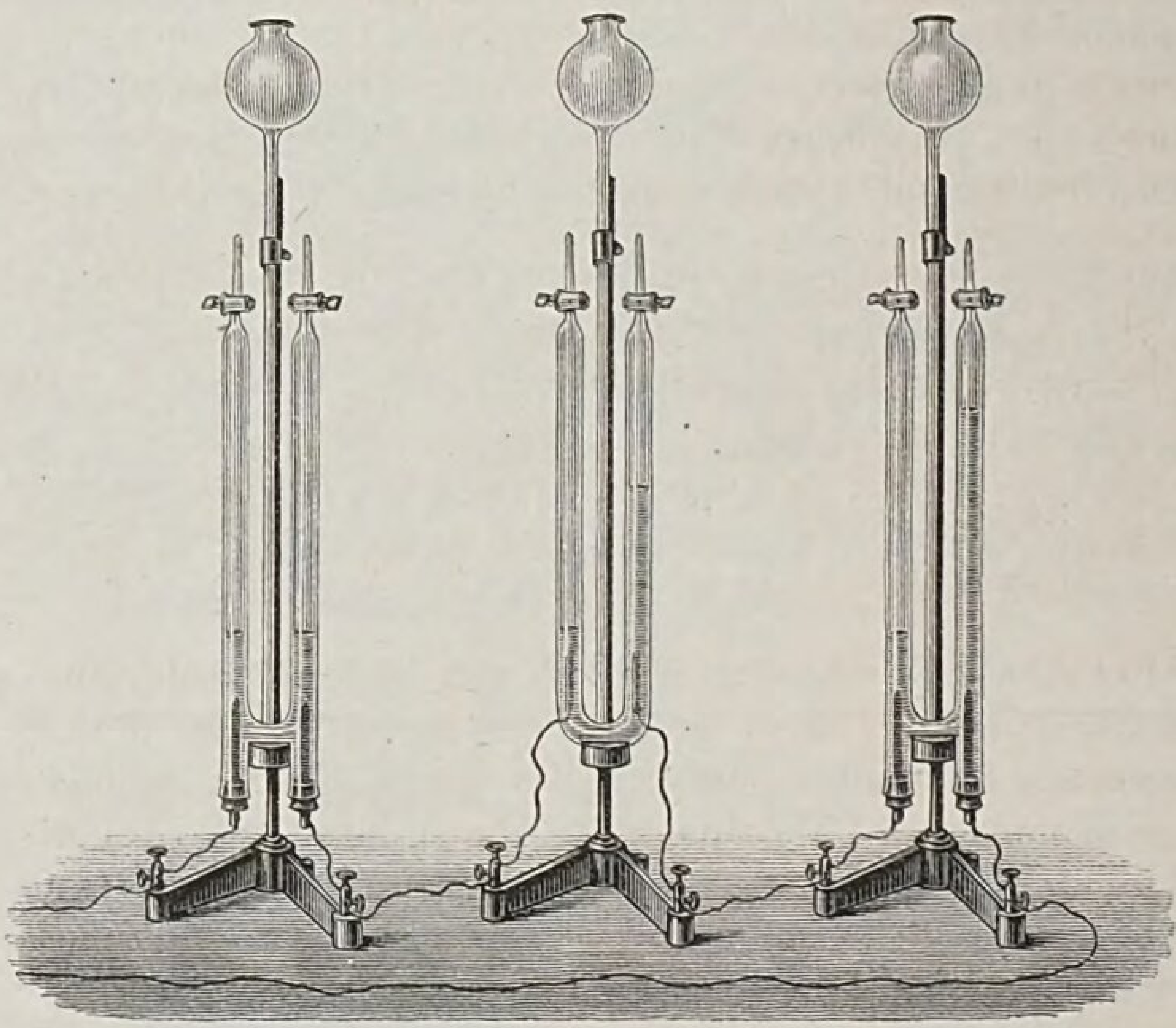
Leitet man z. B. einen Strom durch vier hinter einander eingeschaltete Zersetzungszellen, deren erste angesäuertes Wasser, deren zweite geschmolzenes Chlorsilber, deren dritte geschmolzenes Jodblei, deren vierte geschmolzenes Chlorzinn enthält und lässt man den Strom so lange hindurchgehen, bis der ausgeschiedene Wasserstoff gerade 1 mg (11·17 cbcm) beträgt, so findet man die Mengen der erhaltenen Jonen in den vier Zersetzungszellen wie folgt:

In der ersten	1 mg	H,	in der dritten	103·5 mg	Pb.	
" " "	8 "	O,	" " "	127 "	J.	
" " zweiten	108 "	Ag,	" " vierten	57·9 "	Sn.	
" " "	35·5 "	Cl,	" " "	35·5 "	Cl.	

Diese Gewichtsmengen sind aber einander äquivalent. Um als Vorlesversuch das Faraday'sche Gesetz zu demonstriren, kann man sich nach A. W. Hofmann des Apparates Fig. 366 (a. f. S.) bedienen. Derselbe besteht aus drei Voltametergefässen, wie wir ein solches auf S. 392 beschrieben haben, mit der Modification, dass die Elektroden der beiden äusseren Voltameter aus Kohlenstiften gebildet sind, welche durch Kautschukstopfen hineinragen. Diese drei Voltameter werden mit Salzsäure, angesäuertem Wasser und Ammoniakflüssigkeit gefüllt. Bevor man ans Messen der durch den Strom entwickelten Gase geht, muss man längere Zeit die Flüssigkeit mit diesen sich sättigen lassen und dann erst die Hähne absperren. Es entwickelt sich dann beim weiteren Hindurchleiten des Stromes in allen dreien ein gleich grosses Volum Wasserstoff und daneben in der ersten ein gleiches Volum Chlorgas, in der zweiten ein halb so grosses Volum Sauerstoffgas, in der dritten ein ein Drittel so grosses Volum Stickstoffgas entsprechend den Formeln HCl, H_2O, H_3N ($= HCl$, $HO_{\frac{1}{2}}$, $HN_{\frac{1}{3}}$). Als äquivalente Mengen im Sinne des oben ausgesproche-

nen Gesetzes sind also solche Mengen Cl, O und N zu betrachten, welche mit gleichen Mengen von H verbunden sind.

Fig. 366.



Faraday glaubte ursprünglich sein Gesetz auf binäre Verbindungen, d. h. solche, welche aus einem Atom eines Elementes und einem Atom eines zweiten zusammengesetzt sind, beschränken zu müssen; allein diese Beschränkung ist, wie obiges Beispiel zeigt, nicht nöthig. Wird z. B. ein und derselbe Strom durch eine Zelle mit concentrirter Lösung von Kupferchlorid ($Cu\,Cl_2$) und durch eine solche mit Kupferchlorür ($Cu_2\,Cl_2$) geleitet, so wird an den beiden Anoden gleich viel Cl, an den Kathoden dagegen eine ungleiche Menge Kupfer abgeschieden. Es giebt also auch hier das einwerthige, d. h. ein Atom H vertretende Cl den Ausschlag. Wir werden also sagen: elektrolytisch äquivalent sind gegen einander je ein Atom eines einwerthigen Elementes und eine solche Menge von den mehrwerthigen Elementen, welche mit einem Atom eines einwerthigen verbunden ist.

Da wir früher als Maass der Stromstärke die in der Zeiteinheit entwickelte Menge von Knallgas gewählt haben, so folgt aus dem Faraday'schen Gesetze, dass wir ebenso auch die Zersetzung eines andern Elektrolyten, beziehungsweise die Ausscheidung irgend eines Elementes als Maass der Stromstärke benutzen können. Leiten wir denselben Strom durch verdünnte Schwefelsäure, durch eine Lösung von Kupfervitriol, endlich durch eine Lösung von salpetersaurem Silber, so

sind die durch den Strom abgeschiedenen Mengen von Knallgas, Kupfer und Silber stets einander proportional. Folgendes sind die äquivalenten Mengen dieser Elektrolyte und deren Jonen:

98 Gramm H_2SO_4		giebt an der Kathode	2 Gramm H_2
entsprechend 18 g H_2O			
159·396 g	$CuSO_4$	„	63·396 g Cu
339·82 g	$Ag_2N_2O_6$	„	215·82 g Ag_2

Die Zahlen 18, 63·396, 215·82 verhalten sich wie 1 : 3·522 : 11·99.

Man weiss daher, dass ein Strom, der in der Minute 3·522 mg Kupfer oder 11·99 mg Silber ausscheidet, dieselbe Intensität besitzt, wie ein solcher, der per Minute 1 mg Knallgas = 1·865 cbcm Knallgas in Freiheit setzt. Um die nach 1 cbcm Knallgas, oder 1 mg Wasser, oder 1 mg Kupfer, oder 1 mg Silber als Einheit gemessene Stromstärke von einem dieser Maasse auf eines der anderen Maasse umrechnen zu können, kann man folgende Tabelle benutzen.

Reductionstabelle zur Umrechnung von Stromstärken.

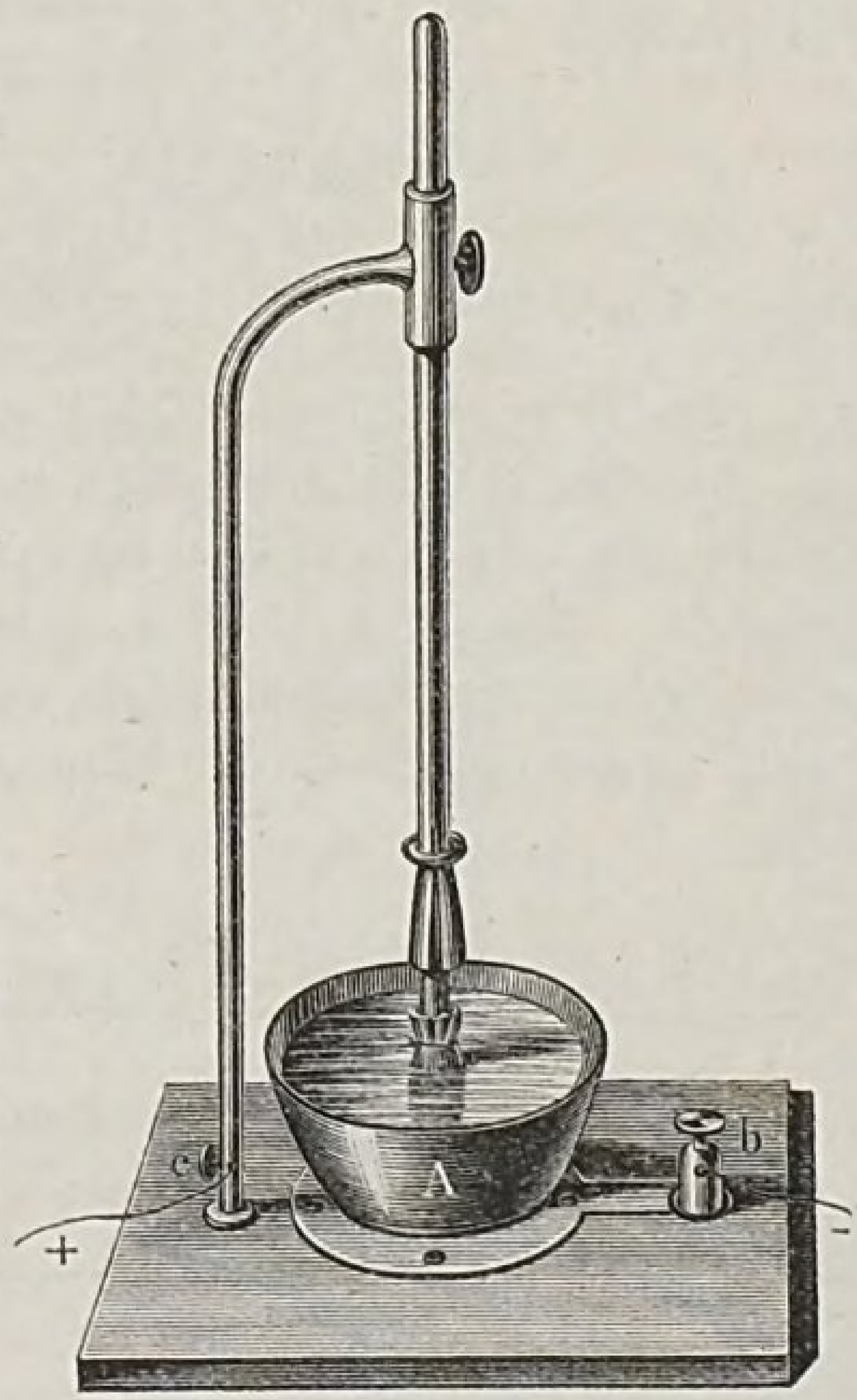
Cubikcentimeter Knallgas bei 0° und 760 mm	Milligramm Wasser	Milligramm Kupfer	Milligramm Silber
1	0·5363	1·889	6·432
1·865	1	3·522	11·99
0·5294	0·2839	1	3·405
0·1555	0·0834	0·2937	1

Auf der Anwendung der beiden letzteren Maasse beruhen das Kupfer- und das Silbervoltameter, welche beide häufig der Anwendung des Knallgasvoltameters vorgezogen werden. Insbesondere ist das Silbervoltameter sehr genau und auch bequem, da einerseits die Menge des abgeschiedenen Silbers relativ gross, andererseits dasselbe leicht rein zu erhalten ist.

Fig. 367 (a. f. S.) zeigt ein solches Instrument. Dasselbe besteht aus einem kleinen Platinschälchen oder Tiegel, welcher auf eine mit der Klemmschraube *b* leitend verbundene Unterlage gestellt und mit einer Lösung von salpetersaurem Silber gefüllt wird. In diese Lösung taucht ein von einer Metallklemme getragener Silberstift. Der letztere wird mit dem positiven, die Schale mit dem negativen Pole in Verbindung gesetzt. Während sich Silber aus der Lösung auf die Innenseite der Schale niederschlägt, wird der Silberstift gelöst. Damit sich von letzterem nicht Theile ablösen und in die Schale fallen können, wird derselbe mit einem feinen Leinwandläppchen (oder Thoncylinder) umgeben. Nach beendigter Stromwirkung wird der Rest ausgehoben, die Silberlösung

vorsichtig abgegossen, die Schale sammt dem Silber mit destillirtem Wasser gut ausgewaschen, getrocknet und gewogen; die Gewichtszunahme giebt die Silbermenge. Die Anzahl der Milligramm desselben multiplicirt mit 0·1555 giebt die Anzahl der Cubikcentimeter Knallgas, welche in derselben Zeit entwickelt worden wären und wenn man noch durch die Anzahl Minuten, die der Strom gedauert hat, dividirt, so erhält man die Stromstärke in Jacobi'schen Einheiten.

Fig. 367.



Das Kupfervoltameter giebt weniger sichere Resultate. Ist nämlich die Anode viel kleiner als die Kathode, so hält die Auflösung des Kupfers bei starken Strömen nicht gleichen Schritt mit dem Niederschlag derselben, die Flüssigkeit wird dann sauer, und dann wird auch ein Antheil des frisch gefällten Kupfers unter Bildung von Oxydulsalz gelöst. Man vermeidet diese Uebelstände durch Anwendung gleich grosser Elektroden und einer ganz concentrirten vollständig neutralen Lösung.

128 **Scheinbare Ausnahme von Faraday's Gesetz; Elektrolytische Convection.** Faraday selbst machte die Beobachtung, dass man schwache Ströme durch Wasser leiten könne, deren Existenz durch Galvanometer, also durch Wirkung auf den Magneten nachgewiesen werden kann, ohne dass eine gleichzeitige Entwickelung von Knallgas beobachtet wird. Er glaubte daher, dass die Flüssigkeiten neben jener Leitungsfähigkeit, welche mit Zersetzung verbunden ist (elektrolytische Leitungsfähigkeit), auch noch in geringerem Grade ein von der Zersetzung unabhängiges Leitungsvermögen (metallische Leitungsfähigkeit) besitzen. Die Annahme eines solchen würde zur Folge haben, dass nicht unbedingt die chemische Wirkung proportional der Stromstärke wäre und dass daher das Voltameter nicht die volle Stromstärke zu messen gestattet. Faraday's Ansicht hat sich jedoch nicht bestätigt. Insbesondere durch De la Rive und Buff wurde erwiesen, dass es eine metallische Stromleitung in den nicht metallischen Flüssigkeiten nicht giebt, und dass schon für Ströme, die so schwach sind, dass durch dieselben nur $\frac{1}{80}$ cbmm Wasserstoff per Stunde abgeschieden wird,

dennoch die Proportionalität zwischen der durch Wirkung auf Magnete nachgewiesenen und der chemisch nachgewiesenen Stromstärke besteht.

Faraday's entgegengesetzte Beobachtungen erklären sich theils durch den Umstand, dass die an den Elektroden in Freiheit gesetzten Gase von der Flüssigkeit gelöst werden, theils durch einen Vorgang, den H. Helmholtz mit dem Namen „elektrolytische Convection“ belegt hat. Versucht man durch den Strom eines einzigen Daniell'schen Elementes die verdünnte Schwefelsäure eines Voltameters zwischen Platinelektroden zu zersetzen, so gelingt dies nicht, weil die elektromotorische Kraft der im Voltameter erzeugten Polarisation derjenigen des Daniell entgegenwirkt. Ist das angesäuerte Wasser aber, wie gewöhnlich, lufthaltig, so ist trotzdem möglich, einen schwachen Strom ohne sichtbare Zersetzung hindurchzuleiten. Dies kommt daher, dass der ausgeschiedene Wasserstoff sich mit dem in der Flüssigkeit gelösten Sauerstoff wieder vereinigt. Nach F. Exner's Theorie beruht, wie wir bereits erwähnt haben, die Polarisation im Voltameter darauf, dass die ausgeschiedenen Jonen O und H_2 sich wieder vereinigen und dadurch einen entgegengesetzten Strom (den Polarisationsstrom) liefern. Diese Wiedervereinigung, also auch der daraus resultirende Strom entfällt, wenn der ausgeschiedene Wasserstoff an der Elektrode Sauerstoff vorfindet, mit dem er sich verbinden kann. Ebenso wirkt ein Gehalt von gelöstem Wasserstoff auf den ausgeschiedenen Sauerstoff. Es kommt also offenbar zu keiner bleibenden Zersetzung, wenn ein schwacher Strom durch angesäuertes Wasser hindurchgeht, in welchem Sauerstoffgas oder Wasserstoffgas gelöst sind, sondern nur zu einer anderen Vertheilung des gelösten Gases. Der Fall hat daher eine gewisse Analogie mit dem Durchgang eines Stromes durch eine Metalllösung zwischen Elektroden aus demselben Metalle (Kupfervitriol zwischen Kupfer), wo auch trotz des Stromes keine bleibende Zersetzung vorhanden ist. Sind die Platinelektroden im Voltameter sehr klein (Wollaston'sche Spitzen), so findet bei einem Strom von genügender Stärke der ausgeschiedene Wasserstoff in der Nähe nicht genug gelösten oder auf dem Platin haftenden Sauerstoff vor, um das Phänomen der elektrolytischen Convection zu bewirken, dagegen sind grosse Elektroden demselben offenbar günstig.

Eine andere scheinbare Ausnahme von Faraday's Gesetz kommt bei der Elektrolyse der Salzlösungen zum Vorschein. Zersetzt man z. B. eine verdünnte Lösung von schwefelsaurem Natron, $Na_2\,S\,O_4$, zwischen Platinplatten, so erhält man an den Elektroden nicht allein eine der Stromstärke entsprechende Menge von Wasserstoff und Sauerstoff, sondern ausserdem an der Anode Schwefelsäure und an der Kathode Natronlauge, während in einem mit eingeschalteten Voltametern nur eine gleiche Menge Knallgas entwickelt wird. Die chemische Action in der Salzlösung scheint also nicht äquivalent zu sein, sondern einen Ueberschuss zu liefern. Wollte man annehmen, dass sich der Strom zwischen dem Wasser und dem Salz getheilt und deshalb von beiden einen Theil

zersetzt habe, so müsste die Knallgasmenge eine entsprechend geringere sein. Dieser Widerspruch klärt sich auf, indem man auf die secundäre Action Rücksicht nimmt. Der Strom zersetzt nur ein Aequivalent Salz in Na_2 und SO_4, diese wirken secundär auf H_2O, wodurch H_2 und O frei werden und zugleich einerseits Na_2OH_2O, d. i. Natronhydrat, andererseits SO_4H_2, d. i. Schwefelsäurehydrat, gebildet werden, wie wir dies bereits im §. 125 gezeigt haben. Diese von Daniell stammende Theorie will nun aber mit der Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure nicht recht harmoniren.

Wenn das Schwefelsäurehydrat wirklich Wasserstoffoxysulphion ist, so muss es bei der Elektrolyse in H_2 und SO_4 zerlegt werden; das am positiven Pol freiwerdende Oxysulphion zerfällt aber sogleich in SO_3 und O, welch letzterer Bestandtheil gasförmig entweicht, während SO_3 in der Flüssigkeit zurückbleibt; es müsste also für jedes Aequivalent Wasserstoffgas, H_2, welches an der negativen, und für jedes Aequivalent Sauerstoff, O, welches an der positiven Elektrode frei wird, ein Aequivalent Schwefelsäure, SO_3, am positiven Pole auftreten; den Versuchen Daniell's zufolge findet sich aber nach der Elektrolyse in der positiven Zelle nur $\frac{1}{4}$ Aequivalent SO_3 mehr als vorher.

Daniell erklärt dies dadurch, dass er die verdünnte Schwefelsäure als ein zusammengesetztes Elektrolyt, bestehend aus Wasser und Schwefelsäurehydrat, betrachtet. Der Strom theile sich zwischen beiden so, dass $\frac{3}{4}$ durch Wasser, $\frac{1}{4}$ durch Schwefelsäurehydrat geleitet werde, und man erhält also:

am positiven Pole	am negativen Pole
$\frac{3}{4}$ Aeq. O	$\frac{3}{4}$ Aeq. H_2
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_4	$\frac{1}{4}$ Aeq. H_2,

und durch Zerfallen von SO_4

am positiven Pole	am negativen Pole
$\frac{3}{4}$ Aeq. O	$\frac{3}{4}$ Aeq. H_2
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + $\frac{1}{4}$ Aeq. O	$\frac{1}{4}$ Aeq. H_2
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O	1 Aeq. H

wie es der Versuch gezeigt hat.

Allein diese Erklärung können wir schon deshalb nicht mehr zulassen, weil ja F. Kohlrausch gezeigt hat, dass das Wasser für sich so gut wie gar nicht den Strom leitet. Wir müssen also neben der äquivalenten Zersetzung noch eine besondere Wanderung der entstandenen Verbindungen annehmen, wovon der folgende Paragraph handeln wird.

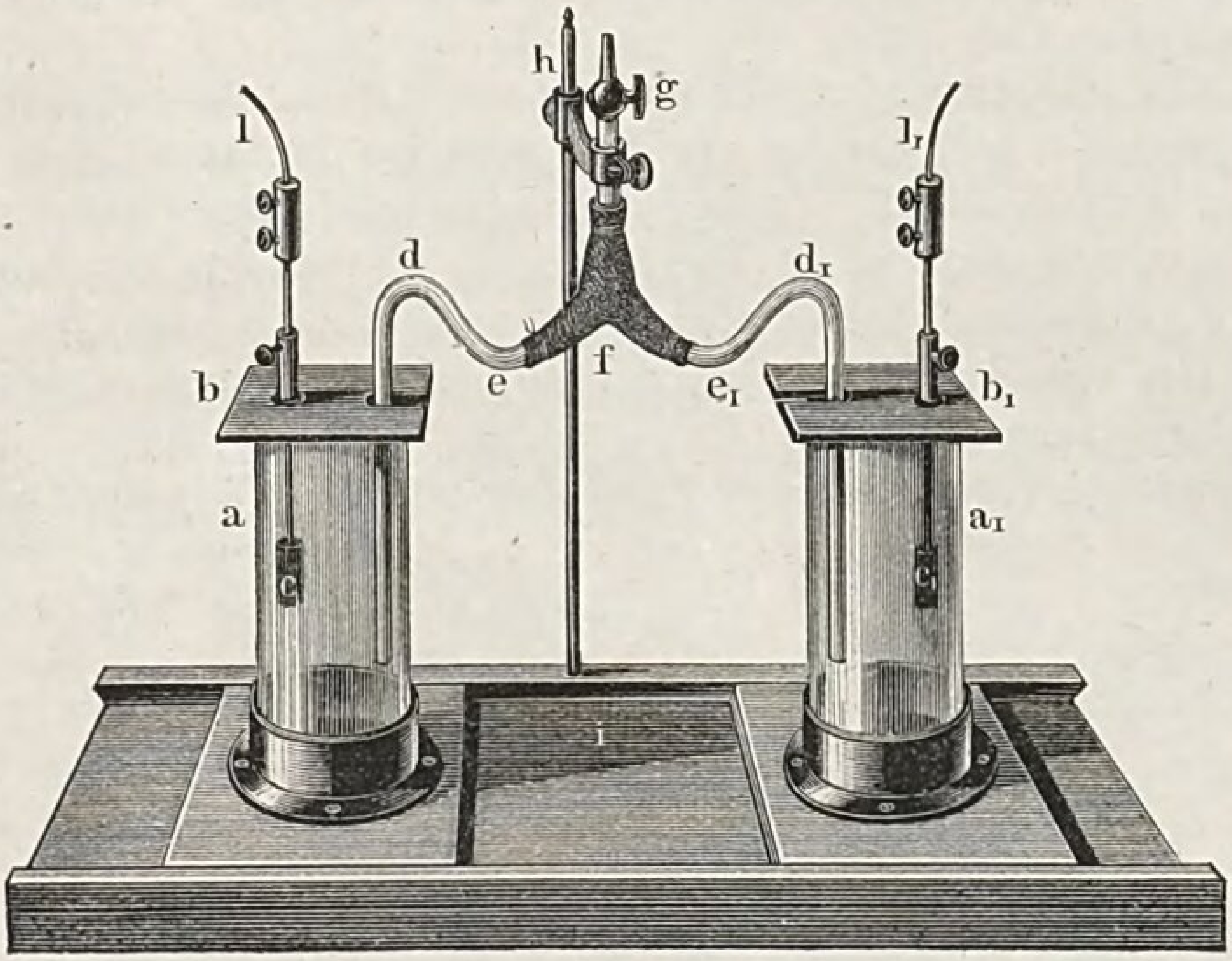
129 **Wanderung der Ionen zwischen den Polplatten.** Wenn man die der Elektrolyse auszusetzende Lösung in zwei getrennte Gefässe füllt, wenn man dann dieselben durch ein mit derselben Lösung gefülltes Heberrohr verbindet, und in das eine Gefäss die positive, in das andere

Gefäss die negative Polplatte eintaucht, so bleibt, wie wir dies schon im vorigen Paragraphen gesehen haben, die Zusammensetzung der Lösung in beiden Gefässen keineswegs die gleiche, allein eine genauere Untersuchung, wie sie Hittorf und namentlich Wiedemann vorgenommen haben, zeigt bald, dass zur Erklärung der hier auftretenden Erscheinungen die im vorigen Paragraphen besprochene Daniell'sche Theorie keineswegs ausreicht.

Um nach beendigter Elektrolyse den Heber entfernen zu können, ohne dass durch denselben ein Theil des Inhalts aus dem einen Gefässe in das andere überfliessen kann, wandte Wiedemann die schon oben erwähnte Vorrichtung, Fig. 368, an.

In das eine der beiden Gefässe wurde die positive, in das andere die negative Polplatte eingetaucht und ausser diesem Zersetzungsappa-

Fig. 368.



rate noch eine mit Kupfervitriollösung gefüllte Zersetzungszelle in den Schliessungsbogen der aus 12 bis 16 Daniell'schen Bechern bestehenden Säule eingeschaltet. — Der Strom blieb 10 bis 12 Stunden im Gange, und das Gewicht des während dieser Zeit an der negativen Polplatte der Kupfervitriolzelle niedergeschlagenen Kupfers diente dann als Maass für die chemische Wirkung, welche der Strom hervorgebracht hatte.

Folgendes sind die Resultate einiger mit dieser Vorrichtung angestellter Versuche, bei welchen die in die beiden Gefässe eingetauchten Polplatten aus Platin bestanden.

Als in die beiden Gefässe verdünnte Schwefelsäure eingefüllt worden war, deren specifisches Gewicht 1·116 betrug, war nach Beendigung der Elektrolyse das Gefäss, in welches man die positive Polplatte eingetaucht

hatte, reicher an Schwefelsäure geworden, und zwar fand sich, dass für 1 Aequivalent des in der Voltameterzelle niedergeschlagenen Kupfers 0·18 Aequivalent Schwefelsäure von dem negativen zu dem positiven Pole übergeführt worden war. In gleicher Weise fand Wiedemann für eine Natronlösung vom specifischen Gewichte 1·06, dass auf 1 Aequivalent des im Voltameter abgeschiedenen Kupfers 0·16 Aequivalent Natron vom positiven zum negativen Pole übergeführt worden war.

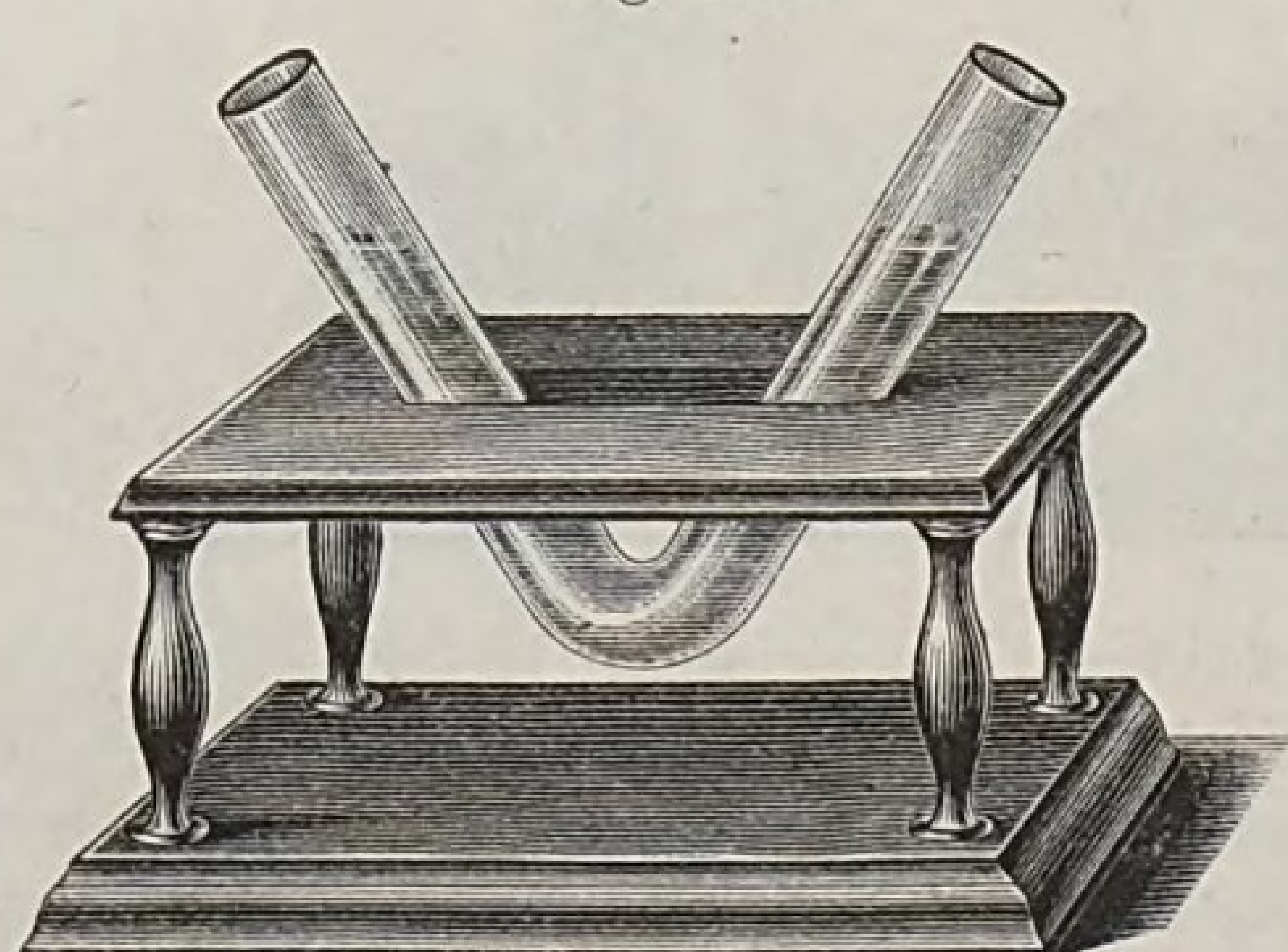
Die Säuren wandern also zum positiven, die Basen zum negativen Pol.

Als auch die beiden Glasgefässe mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt waren (specif. Gewicht 1·09), fand sich, dass auf 1 Aequivalent des an der negativen Polplatte abgesetzten Kupfers 0·18 Aequivalent Kupfer in das negative Gefäss übergegangen waren, und als beide Polplatten von Kupfer waren, stieg die in das negative Gefäss übergegangene Kupfermenge auf 0·36 des an der negativen Polplatte abgelagerten Kupfers.

Da also, mögen nun die Polplatten aus Platin oder aus Kupfer bestehen, nicht so viel Kupfer aus dem positiven in das negative Gefäss übergeht, als sich aus der Lösung des negativen Gefässes auf die negative Polplatte absetzt, so ist klar, dass die Flüssigkeit um den negativen Pol fortwährend heller wird, wie man dies auch schon beobachten kann, wenn man die Elektrolyse der Kupfervitriollösung in der Röhre Fig. 369 vornimmt.

Sind beide Polplatten von Platin, so nimmt der Kupfergehalt der Lösung am positiven und am negativen Pole ab, am negativen aber schneller. Sind die Elektroden von Kupfer, so nimmt der Kupfergehalt am positiven Pole zu, weil für 1 Aquivalent Kupfer, welches an der negativen Elektrode niedergeschlagen wird, auch 1 Aeq. Kupfer vom positiven Pole gelöst wird, während eine weit geringere Kupfermenge zum negativen Pole überwandert.

Fig. 369.



Hittorf erklärt dieses eigenthümliche Verhalten dadurch, dass die Ionen mit ungleicher Geschwindigkeit ihren Polen zuwandern, dass also in unserem Fall SO_3 und O schneller gegen den positiven Pol hinwandern, als Cu nach der entgegengesetzten Richtung.

Das Verhalten jeder Lösung wird dabei durch eine eigene Constante bestimmt, welche Hittorf die Ueberführungszahl des Anions

nennt und mit n bezeichnet. Diese Zahl hat folgende Bedeutung: Denkt man sich durch die Flüssigkeit zwischen den Elektroden einen Querschnitt so gelegt, dass die Aenderungen der Concentrationen, welche in der Umgebung der Elektroden stattfinden, diesen Querschnitt nicht erreichen, und bestimmt man vor und nach dem Durchgang des Stromes die Bestandtheile auf beiden Seiten des Querschnittes, so findet man eine Vermehrung einerseits des positiven, andererseits des negativen Bestandtheiles. Diese Zuwüchse entsprechen den durch den Querschnitt getriebenen Mengen der beiden Bestandtheile. Die Ueberführungszahl n des Anions bedeutet die durch den Querschnitt gegangene Anzahl der Molecüle (Aequivalente) des Anions im Verhältniss zu der gleichzeitig zersetzten Anzahl der Molecüle des Elektrolyts.

Bezeichnet man mit k die Geschwindigkeit des Kations, mit a die des Anions, so ist also:

$$n = \frac{a}{k + a}, \quad 1 - n = \frac{k}{k + a}, \quad \frac{1 - n}{n} = \frac{k}{a}.$$

Hittorf hat gezeigt, dass n eine von der Stromstärke unabhängige Constante ist, welche aber mit der Concentration wechselt. F. Kohlrausch unterzog die für verdünnte Lösungen erhaltenen Ueberführungszahlen einer theoretischen Discussion, welche für die Theorie der Elektrolyse, sowie für die der Constitution der Lösungen von grosser Wichtigkeit ist. Wir müssen diesbezüglich auf seine Abhandlung (Wied. Ann. Bd. VI.) verweisen.

Mechanische Ueberführung der Flüssigkeiten vom positiven zum negativen Pole. 130 Wie beim galvanischen Flammenbogen vorzugsweise ein Ueberströmen vom positiven zum negativen Pole stattfindet, so zeigt sich auch beim Durchgange des Stromes durch Flüssigkeiten eine Tendenz, dieselben gegen den negativen Pol hinzutreiben. Wenn man die Biegung des Rohrs Fig. 369 durch einen Pfropf von feuchtem Thon verschliesst, wenn man alsdann beide Schenkel zu gleicher Höhe mit reinem Wasser füllt und in dasselbe die Polplatten einer Säule von ungefähr 6 bis 10 Bunsen'schen Bechern eintaucht, so ist zwar wegen der schlechten Leitungsfähigkeit des Wassers die Gasentwickelung unbedeutend, dagegen findet ein bedeutendes Sinken des Wassers im positiven und ein entsprechendes Steigen im negativen Schenkel statt. Ebenso wie beim Wasser beobachtet man dieses Ueberführen zum negativen Pole auch bei einer Lösung von Kupfervitriol.

Weingeist zeigt diese Erscheinung noch stärker als reines Wasser.

Es ist vortheilhaft, statt des Thonpfropfes eine Scheidewand von gebranntem porösem Thon anzuwenden, was am einfachsten in folgender Weise geschieht: Auf den kürzeren Schenkel einer gebogenen Glasröhre

ab, Fig. 370, wird eine möglichst genau passende kleine Thonzelle aufgekittet, und zwar so, dass der Boden der Thonzelle auf dem Ende des Glasrohres aufsitzt. Ueber die Thonzelle wird dann eine zweite etwas weitere aber gleichfalls wieder möglichst genau passende Glasröhre aufgekittet und zwar mit Siegellack, wenn der Apparat für wässerige Flüssigkeiten, mit Hausenblase, wenn er für Weingeist dienen soll, immer aber so, dass der Boden des Thonzellchens rein bleibt.

Man hat diese Ueberführung der Flüssigkeit durch die poröse Thonwand als elektrische Endosmose bezeichnet.

Um die Menge der zum negativen Pole übergeführten Flüssigkeit genau zu messen, hat Wiedemann den Apparat Fig. 371 construirt: Auf einen unten geschlossenen porösen Thoncylinder war oben eine kleine tubulirte Glasglocke gekittet, in deren Oeffnung ein perpendiculäres Rohr *d* mit seitlichem Ausflussrohr *e* eingesetzt war. Innerhalb des Thoncylinders stand ein Cylinder *c* von Kupfer- oder Platinblech, von welchem ein Draht *f* luftdicht in die Wand der Glasglocke eingefügt zum negativen Pol der Säule führte. Ausserhalb war der Thoncylinder von einem zweiten mit dem positiven Pole verbundenen Blechcylinder *i*

Fig. 370.

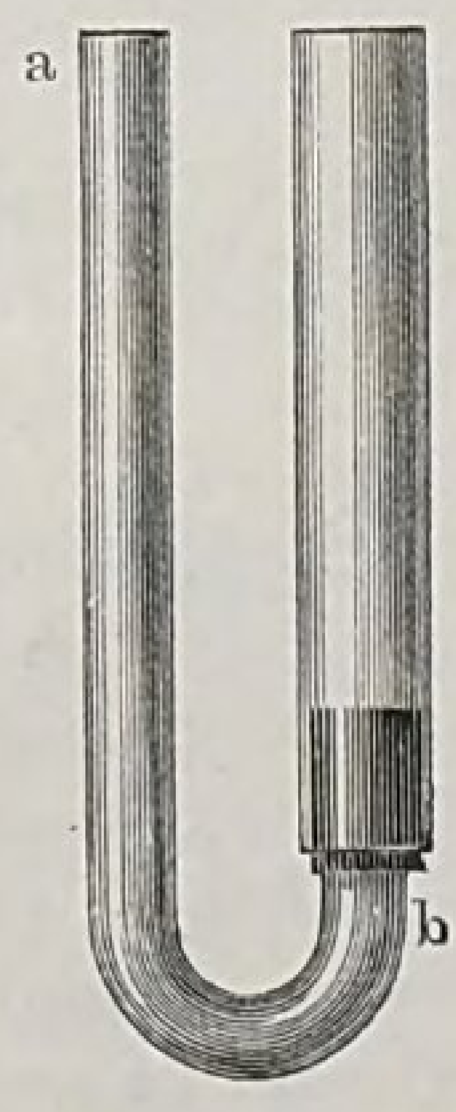
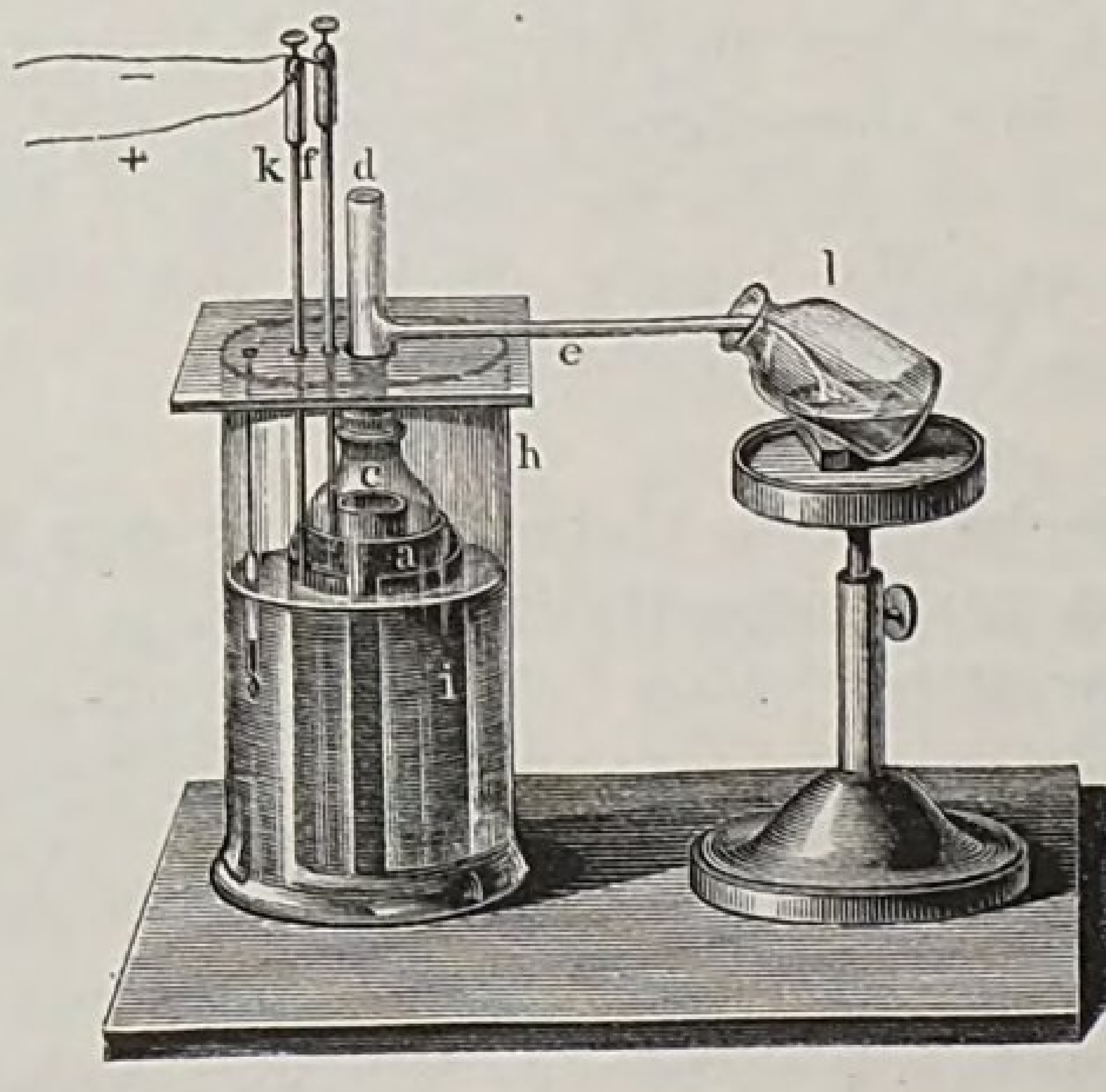


Fig. 371.



umgeben. Der ganze Apparat stand in einem weiteren Glascylinder *h*, welcher, wie auch das Innere des Thoncylinders, mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt war. Die Stromstärke wurde an einem Galvanometer gemessen.

Bei einer solchen mit Wasser angestellten Versuchsreihe ergab sich in $\frac{1}{4}$ Stunde die Ueberführung von 13·26 g für eine Stromstärke 108, während sich für die fast gleiche Stromstärke 106 in gleicher Zeit nur eine Ueberführung von 2·48 g ergab, als der Apparat mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt war.

Die wichtigsten Gesetze dieser Ueberführung sind nach Wiedemann's Untersuchungen folgende:

1. Für eine und dieselbe Flüssigkeit ist die in gleichen Zeiten auf die Seite des negativen Pols übergeführte Flüssigkeitsmenge der Stromstärke proportional.

2. Unter sonst gleichen Umständen ist die Ueberführung der Flüssigkeit zum negativen Pole um so bedeutender, je grösser der Leitungswiderstand der Flüssigkeit ist.

Selbst für gut leitende Flüssigkeiten hat Wiedemann eine solche mechanische Ueberführung zum negativen Pole nachgewiesen. Wenn in dem Apparate Fig. 359, S. 406 das obere Ende des in das negative Gefäss herabhängenden Rohres durch eine poröse Thonplatte verschlossen wird, und man den Strom mehrere Stunden lang durch den mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Apparat gehen lässt, so findet eine Vermehrung der Flüssigkeit im negativen Glase statt. Bei einem derartigen Versuche betrug diese Zunahme 0·49 cbcm, als das specifische Gewicht der Mischung 1·06 war; für ein specifisches Gewicht 1·04 betrug sie 1·02 cbcm.

Ohne Dazwischenkunft einer porösen Scheidewand, welche ein Zurückfliessen in das positive Gefäss hindert, kann natürlich eine solche Vermehrung der Flüssigkeitsmenge im negativen Gefässe nicht eintreten, weil sonst jede Ueberführung durch den Strom sogleich auf hydrostatischem Wege ausgeglichen wird.

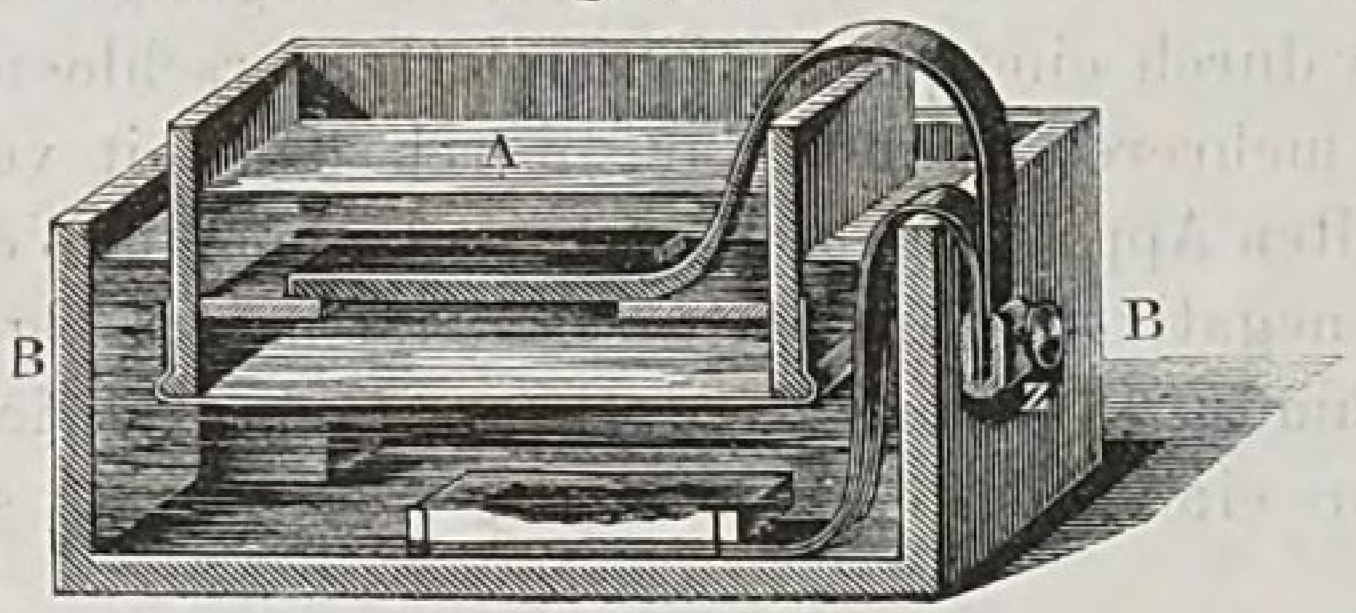
Die im vorigen Paragraphen betrachteten Erscheinungen, welche bei der Elektrolyse einer Kupfervitriollösung auftreten, liessen sich nach Wiedemann's Ansicht so erklären, dass bei der Elektrolyse des Kupfervitriols SO_3 und O von einem Kupfertheilchen zum anderen gegen den positiven Pol hin fortwandern, ohne dass die Kupferatome von ihrer Stelle weichen, was für den Fall kupferner Elektroden eine Zunahme der Concentration am + Pol bewirkt; dass aber alsdann durch die mechanische Wirkung des Stromes ein Theil der concentrirteren Lösung aus dem positiven Gefässe in das negative übergeführt wird, wogegen durch die hydrostatische Ausgleichung weniger concentrirte Lösung in das positive Gefäss zurückkommt. Näheres hierüber in dem mehrfach citirten Werke Wiedemann's.

Praktische Anwendungen der Elektrolyse. Nachdem de 131
la Rive bereits im Jahre 1836 darauf aufmerksam gemacht hatte, dass das auf der Kupferplatte eines Daniell'schen Bechers niedergeschlagene Kupfer von derselben ablösbar und ein mikroskopisch genauer Abdruck derselben sei, so kamen Jacobi und Spencer, wie es scheint fast gleichzeitig, auf den Gedanken, dies praktisch nutzbar zu machen, was denn auch den entschiedensten Erfolg hatte.

Jacobi nannte diese Methode, mittelst elektrolytisch niedergeschlagenen Kupfers den Abdruck einer beliebigen Form darzustellen, „Galvanoplastik", ein Name, welcher allgemein adoptirt wurde.

Um einen galvanoplastischen Abdruck einer metallischen Form, z. B. einer Münze, zu machen, hat man sie nur als negative Polplatte eines schwach geladenen Daniell'schen oder Bunsen'schen Bechers, der positiven Polplatte gegenüber, in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol zu tauchen. Es ist jedoch nicht einmal nöthig, eine vom Elektromotor gesonderte Zersetzungszelle anzuwenden, indem die metallische Form selbst die Rolle des elektronegativen Metalls in einem einfachen Plattenpaar übernehmen kann. Fig. 372 stellt einen zu diesem Zwecke construirten Apparat dar. Ein Gefäss A, welches oben offen ist, dessen Boden aber aus einer Schweins- oder Ochsenblase gebildet wird, ist so in ein weiteres Gefäss B eingesetzt, dass der Boden von A ungefähr 5 cm über dem Boden des Gefässes B sich befindet. Das Gefäss A wird mit stark verdünnter Schwefelsäure (ungefähr $\frac{1}{40}$ Schwefelsäure), das Gefäss B aber mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol gefüllt. In die Flüssigkeit des oberen Gefässes wird dann eine amalgamirte Zinkplatte, in die Flüssigkeit des unteren Gefässes wird die aus einem elektronegativen Metalle bestehende Form eingesetzt.

Fig. 372.



Auf irgend eine Weise muss dafür gesorgt sein, dass die Zinkplatte in einiger Entfernung über der Blase gehalten wird, welche den Boden des Gefässes A bildet; ferner ist es gut, über der Blase ein Stück Leinen auszubreiten, damit Unreinigkeiten und Metallstückchen, welche von der Zinkplatte herabfallen, nicht mit der Blase in Berührung kommen.

Die Zinkplatte ist mit einem Zinkstreifen versehen, welcher bei z durch eine Klemmschraube an einen Metallstreifen angedrückt wird, der zur elektronegativen Form führt.

Am zweckmässigsten stellt man eine solche, als Matrize dienende Form aus Guttapercha her, indem man die weiche Guttapercha auf den zu vervielfältigenden Gegenstand mittelst einer Presse aufdrückt. Um ein Anhaften zwischen der Guttapercha und dem Original zu verhindern, wird letzteres mit einer feinen Graphitschicht überzogen. Die Presse wird erst nach vollständigem Erkalten der Guttapercha geöffnet.

Eine solche Form ist freilich nicht leitend, sie wird es erst dadurch, dass man die Fläche der Form, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit einer zarten Schicht von Graphit überzieht, welche mittelst eines weichen Pinsels aufgerieben wird. Diese Form wird sodann auf einem Bleistreifen befestigt, indem man sie mittelst mehrerer Kupferstifte, welche die leitende Verbindung zwischen der Graphitschicht und dem Bleistreifen herstellen, aufnietet.

Dieser Bleistreifen, welcher bei z mit dem zur Zinkplatte führenden Zinkstreifen zusammengepresst ist, muss, soweit er in die Lösung von Kupfervitriol eintaucht, mit einem isolirenden Ueberzuge versehen sein, den man etwa durch Anstreichen mit einer Siegellacklösung herstellen kann.

Der Strom, welcher durch den Apparat circulirt, ist nur schwach; das Kupfer setzt sich langsam ab, und zwar setzt es sich zunächst um die Kupferstiftchen an. Je nachdem der Strom stärker oder schwächer ist, ist in einem oder mehreren Tagen die Kupferschicht dick genug zum Abnehmen. Bei schwächeren Strömen wird der Kupferniederschlag am gleichförmigsten; deshalb darf die Flüssigkeit, in welcher sich die Zinkplatte befindet, nur schwach sauer sein.

Je mehr Kupfer sich abgesetzt hat, desto heller wird die Vitriollösung. Wenn es nöthig ist, muss man die verbrauchte Lösung durch neue ersetzen.

Man hat in neuerer Zeit sehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplastik gemacht; es ist gelungen, auf diese Weise Holzschnitte mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, wodurch es möglich wird, von einer und derselben Figur beliebig viele Abdrücke zu erhalten, ohne dass die späteren den früheren nachstehen. Die Holzschnitte dieses Werkes sind mit solchen Kupfertypen gedruckt.

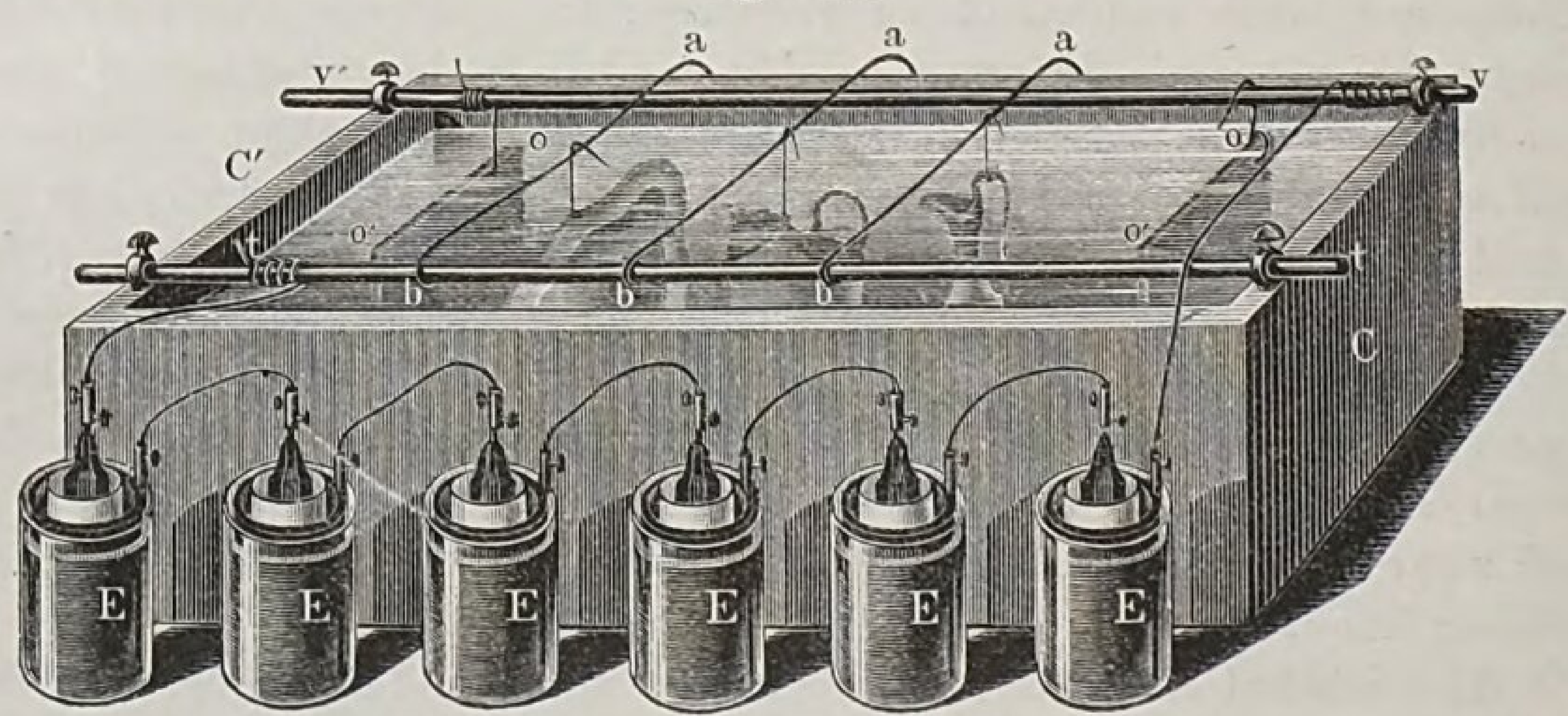
Eine gestochene Kupferplatte hält bekanntlich nicht sehr viele Abdrücke aus, ohne bedeutend zu verlieren; die späteren Abdrücke sind immer schlechter als die ersten; daher der Werth der sogenannten *avant la lettre*. Dadurch ist der Stahlstich so sehr in Aufnahme gekommen, weil eine Stahlplatte ungleich mehr Abdrücke aushalten kann. Für die Kunst ist dies von entschiedenem Nachtheile, weil die Härte dieses Materials dem Künstler sehr grosse technische Schwierigkeiten entgegensetzt, welche es ihm unmöglich machen, auf Stahl ein so vollendetes Kunstwerk zu liefern, wie auf Kupfer. Nun hat man aber gelernt, selbst grosse Kupferplatten auf galvanoplastischem Wege zu vervielfältigen, und zwar so, dass die Abdrücke der Copien, deren man beliebig viele machen kann, denen der Originalplatte ganz gleich sind.

Endlich hat Kobell in München ein mit dem Namen der Galvanographie bezeichnetes Verfahren angegeben, um in Tuschmanier gemalte Bilder durch Galvanoplastik zu vervielfältigen. Auf eine übersilberte Kupferplatte malt man mit einer Farbe, welche dadurch bereitet wird, dass man Oker oder Coaks mit einer Auflösung von Wachs in Terpentinöl anreibt und etwas Dammarafirniss zusetzt. Mit dieser Farbe malt man auf die Platte so, dass die hellsten Lichter frei bleiben und die Farbe um so dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten sein soll. Sobald das Bild fertig gemalt ist, wird es mit Hülfe eines zarten Pinsels mit feingepulvertem Graphit überzogen und dann in den galvanoplastischen Apparat eingesetzt. Allmälig schlägt sich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher

alle Lichtpartien der ersteren eben, die Schattenpartien aber vertieft sind; diese Platte liefert nun, wie eine gestochene Kupferplatte behandelt, Abdrücke, welche einer getuschten Zeichnung ähnlich sehen.

Ebenso, wie sich aus einer Auflösung von Kupfervitriol auf galvanischem Wege Kupfer am negativen Pole der Kette absetzt, ebenso setzen sich auch andere Metalle, wie Gold und Silber, aus einer geeigneten Auflösung am negativen Pole ab; darauf beruht die galvanische Vergoldung und Versilberung, zu deren Ausführung man eine Vorrichtung anwendet, wie sie in Fig. 373 dargestellt ist. Ueber einem Troge $C\,C'$ sind zwei Metallstäbe $v\,v'$ und $t\,t$ befestigt, von denen der eine mit dem positiven, der andere mit dem negativen Pole der Säule in leitender Verbindung steht. Der Trog ist mit der Versilberungsflüssigkeit (100 Theile Wasser, 10 Theile Cyankalium und 1 Theil Cyansilber, oder mit der entsprechenden Vergoldungsflüssigkeit) gefüllt, in welche die beiden, mit der positiven Stange $v\,v'$ in leitender Verbindung stehenden Silberplatten $o\,o'$ hineinhängen. Diese Silberplatten bilden also die positiven Elektroden. An den starken Drähten $b\,a$, welche mit dem negativen Stabe $t\,t$ leitend verbunden sind, aber den Stab $v\,v'$ nicht leitend berühren dürfen, sind nun die zu versilbernden (oder zu vergoldenden) Gegenstände angehängt, welche, in die Flüssigkeit eintauchend, die negative Elektrode bilden.

Fig. 373.



Zur Erzeugung des Stromes dient eine Säule von 4 bis 6 Daniell'schen oder von 2 grossflächigen Bunsen'schen Bechern.

Die Niederschläge von Bleihyperoxyd und Manganhyperoxyd, welche sich aus den entsprechenden Metalllösungen auf der positiven Platte absetzen, zeigen oft die schönsten Farben, wenn die Schicht noch dünn genug ist. Nobili hat zuerst auf diesem Wege auf Metallplatten Farbenringe dargestellt, die nach ihm die Nobili'schen Ringe genannt werden. Man hat nun dieses Verfahren in neuerer Zeit sehr vervollkommnet und diese Farbenringe auch in der Praxis zur Verzierung von mancherlei Metallwaaren, z. B. von Tischglocken etc., angewandt.

Eine Bleilösung, aus welcher man besonders prachtvolle Farbenniederschläge erhält, wird nach Becquerel's Angabe bereitet, indem man feingepulverte Bleiglätte in einer Aetzkalilösung, deren specifisches Gewicht ungefähr 1·8 ist, kocht. In diese Flüssigkeit wird nun die den positiven Pol einer Säule von ungefähr 6 Daniell'schen Bechern bildende Metallplatte eingetaucht, und ihr gegenüber der aus einem Platindraht oder einer kleinen Platinplatte bestehende negative Pol der Säule gehalten. Die Farben entwickeln sich sehr rasch. Am negativen Pol scheidet sich metallisches Blei ab.

Ein Metall, welches an und für sich von einer Säure oder irgend einer anderen Flüssigkeit angegriffen wird, kann dadurch, dass man es mit einem noch mehr elektropositiven Metall so in Berührung bringt, dass es den negativen Pol einer einfachen Kette bildet, vor dem Anfressen geschützt werden.

So wird, wenn eine Zink- und eine Kupferplatte sich in einer verdünnten Säure berühren, das Zink schneller, das Kupfer weniger schnell oxydirt, als es ausserdem der Fall sein würde. Für dieses Princip geben die Versuche Davy's über die Erhaltung des Kupferbeschlages der Schiffe ein schönes Beispiel. Eine Kupferplatte, in Seewasser eingetaucht, ist einem schnellen Anfressen unterworfen; wenn aber das Kupfer in Berührung mit Zink oder Eisen ist, so werden diese Metalle aufgelöst, das Kupfer aber dadurch geschützt. Davy hat gefunden, dass ein Stück Zink, so gross wie der Kopf eines kleinen Nagels, hinreicht, um ungefähr 9 qdm Kupfer zu schützen.

Leider hat sich gezeigt, dass diese schöne Methode, das Kupfer rein zu erhalten, praktisch nicht angewendet werden kann, weil das Kupfer bis zu einem gewissen Grade angefressen sein muss, wenn es nicht durch Anhängen von Seegras und Schalthieren verunreinigt werden soll.

Dasselbe Princip hat v. Althaus angewandt, um das Anfressen der eisernen Pfannen, in welchen die Salzsoole versotten wird, zu ververhindern. Hier durfte aber das schützende Zink nicht in den Pfannen selbst angebracht werden, weil sonst das gebildete Chlorzink sich in der Salzlösung verbreitet hätte. Er schnitt deshalb die Ecken der Pfannen durch ein Brett ab und goss die so gebildeten Kammern, deren Boden durch die Eisenplatten gebildet wurde, mit Zink aus. So war das Zink mit dem Eisen in metallischer Berührung, und die Flüssigkeit sickerte in hinlänglicher Menge durch das Holz zum Zink durch, um die Kette zu schliessen; das gebildete Chlorzink konnte aber die Salzlösung nicht verunreinigen.

Theorie der Elektrolyse. Die Erklärung der Elektrolyse gehört unstreitig zu den schwierigsten Aufgaben der Physik und ist bis 132
heute, trotz der Versuche vieler Chemiker und Physiker, wie Berzelius, Grotthuss, Davy, De la Rive, Ampère, Fechner, Kohlrausch, Schönbein, Magnus, Clausius, Hittorf, Wiedemann,

Quincke u. A., noch immer nicht zu einem ganz befriedigenden Abschlusse gelangt.

Wir haben oben in §. 122 über die Grotthuss'sche Vorstellungsweise, welche bis vor Kurzem noch als die verbreitetste angesehen werden konnte, das Wesentlichste mitgetheilt. Fassen wir nochmals die Zersetzung eines Elektrolyten, z. B. der concentrirten Salzsäure, ins Auge. Die einzelnen Molecüle ordnen sich nach der Grotthuss'schen Vorstellungsweise zwischen den Elektroden wie folgt:

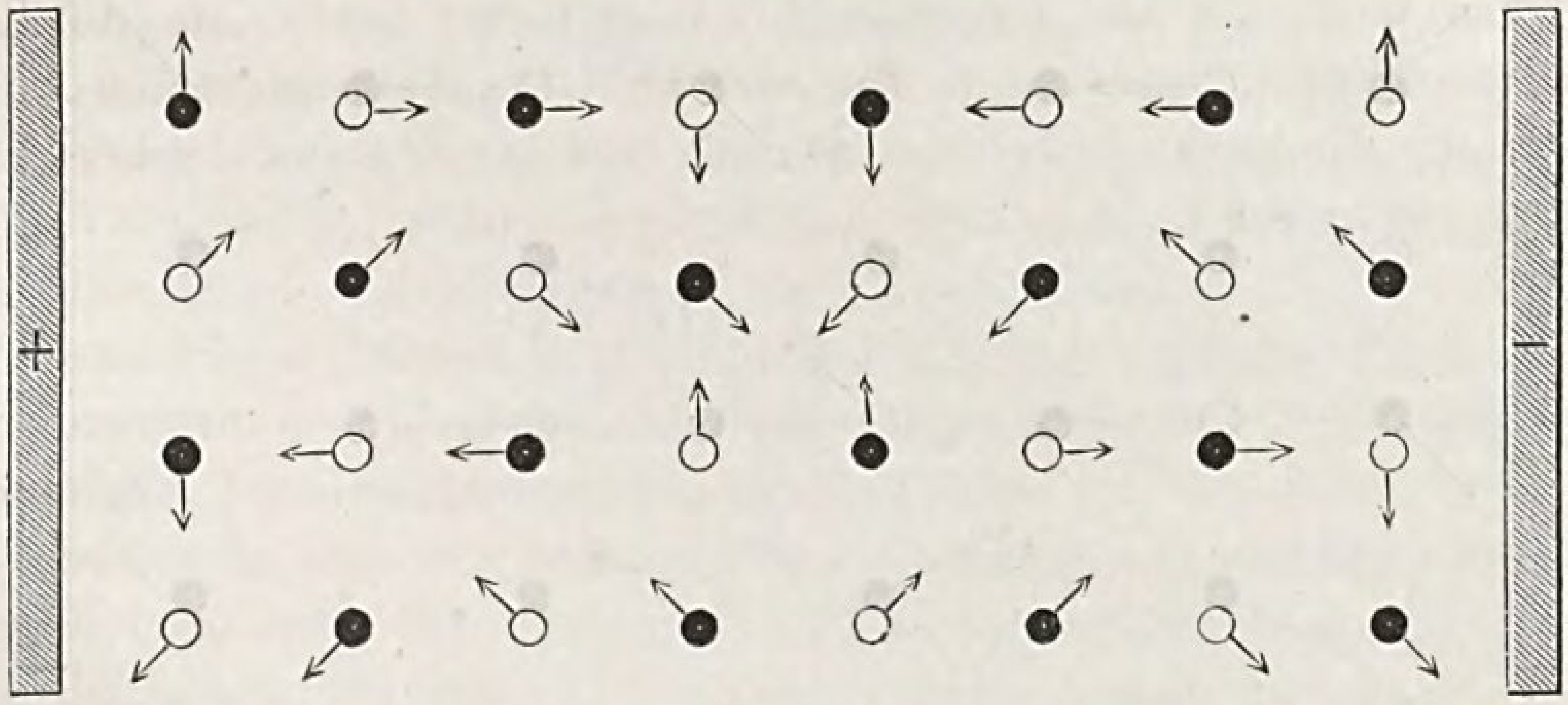
$$+ \overset{-}{\mathrm{Cl}}\overset{+}{\mathrm{H}}\ \overset{-}{\mathrm{Cl}}\overset{+}{\mathrm{H}}\ \overset{-}{\mathrm{Cl}}\overset{+}{\mathrm{H}}\ \overset{-}{\mathrm{Cl}}\overset{+}{\mathrm{H}}\ \overset{-}{\mathrm{Cl}}\overset{+}{\mathrm{H}} -$$

Soll nun die Zersetzung beginnen, so muss die Anziehung von Seite der + Elektrode auf das erste Cl-Atom grösser sein, als die Anziehung dieses Atoms durch das H-Atom. So lange dies nicht der Fall ist, könnte die Zersetzung offenbar nicht beginnen. Ist die Anziehungskraft aber einmal erreicht, so müsste die Zersetzung auch gleich mit einer gewissen Lebhaftigkeit vor sich gehen. Es wäre also gar nicht möglich, dass schon der geringste Potentialunterschied der Pole einen Strom mit Zersetzung hervorrufen könnte, sondern erst von einem gewissen Potentialunterschiede an, also auch erst von einer gewissen kleinsten Stromstärke an wäre die Zersetzung möglich. Dies widerspricht aber direct den Thatsachen, welche wir in den §§. 95 und 127 zur Kenntniss genommen haben; denn von einer Proportionalität zwischen Stromstärke und Elektrolyse bis zu den schwächsten Strömen hinab könnte dann keine Rede sein.

Diese Schwierigkeit hat nun aber Clausius (Mechanische Behandl. d. Elek. S. 154) behoben, indem er jene Vorstellung über die Constitution der Flüssigkeiten zu Grunde legte, zu welcher ihn die kinetische Theorie der Aggregatzustände geführt hat, eine Vorstellung, die in ähnlicher Weise schon Williamson durch chemische Betrachtungen veranlasst, ausgesprochen hat und welche später in modificirter Weise der Dissociationstheorie und der Theorie der reciproken Reactionen des Verfassers zu Grunde gelegt wurde. Nach dieser Vorstellung sind die Molecüle des Elektrolyten nie in Ruhe, stets ist ein Theil derselben im Zerfall begriffen, andere werden durch Wiedervereinigung der Bestandtheile neu gebildet. Sowohl die unzersetzten Molecüle, wie die frei gewordenen Bestandtheile derselben sind in fortschreitender Bewegung nach allen Richtungen begriffen. So lange nun kein Strom geht, überwiegt keine dieser Richtungen, es vertheilen sich daher die Bestandtheile in durchaus gleichförmiger Weise durch die ganze Masse. Sobald aber ein Strom geht, addirt sich zu jeder Bewegung eines elektropositiven Bestandtheils eine Componente in der Richtung des positiven Stroms und ebenso eine Componente in der Richtung des negativen Stroms zu jeder Bewegung eines elektronegativen Bestandtheils. Wir wollen diese Erklärung durch ein rohes Bild etwas klarer zu machen versuchen. Fig. 374 stelle ein zwischen den Elektroden befindliches Flüssigkeitsquantum vor. Unter

den zahllosen momentan unzersetzten Molecülen derselben finden sich eine Anzahl momentan zersetzter Molecülbestandtheile vor, und zwar

Fig. 374.

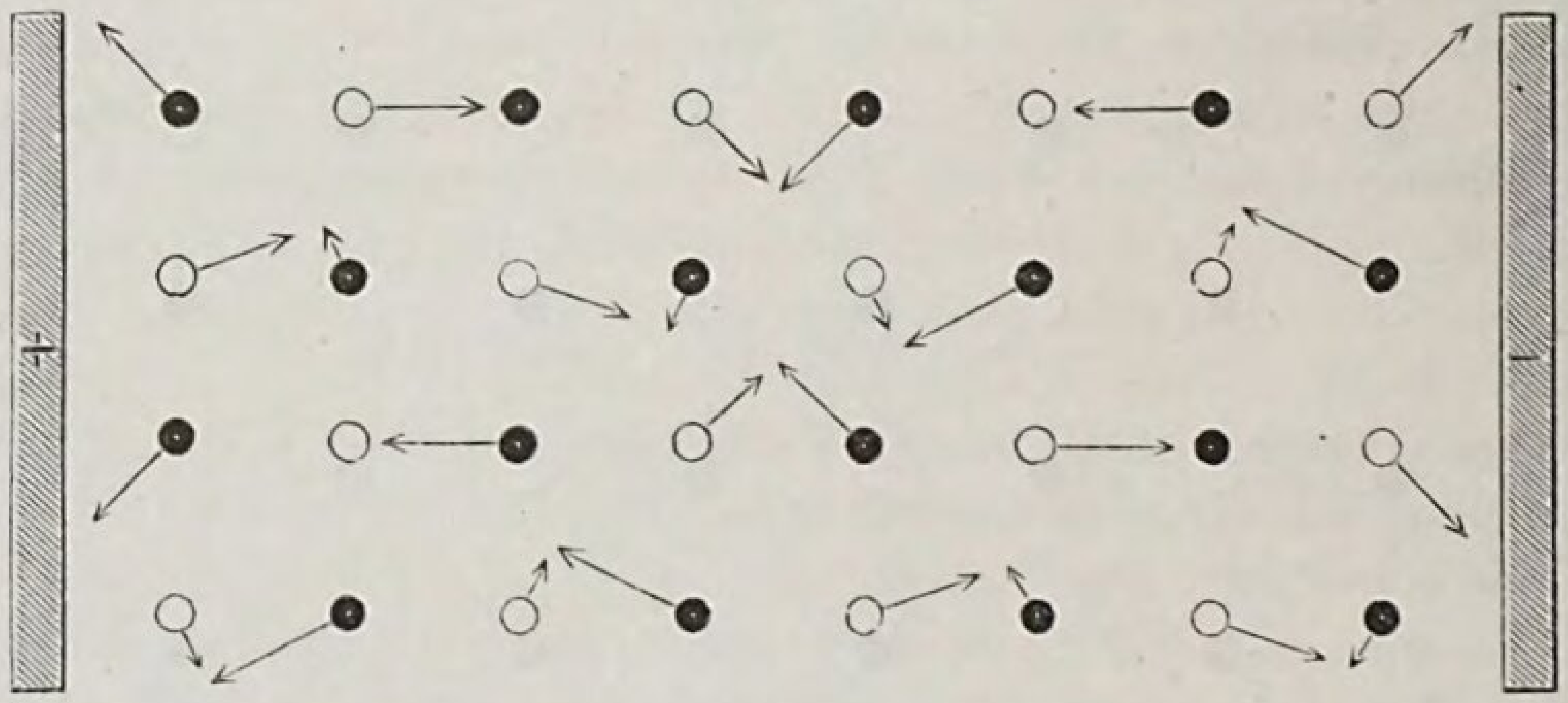


gleich viel von beiderlei Art. Dieselben sind zwar regellos, aber doch in der Art in der ganzen Masse vertheilt, dass in jedem messbaren Raume eine gleiche Anzahl beider Arten vorkommen. Auch die Bewegungsrichtungen und Geschwindigkeiten sind gleich vertheilt. In Fig. 374 sind nur diese Molecülbestandtheile gezeichnet, die unzersetzten Molecüle weggelassen. Es ist ferner der Einfachheit wegen angenommen, dass alle Geschwindigkeiten gleich gross seien, und es sind nur acht Hauptrichtungen als Repräsentanten gezeichnet. Die angesetzten Pfeile stellen die Grösse und Richtungen dieser Geschwindigkeiten vor. So lange nun kein Strom geht, kann es nicht zu einer vorherrschenden Anhäufung der einen oder anderen Art der Molecülbestandtheile kommen, dieselben werden also immer wieder Gelegenheit finden, einer gleich grossen Anzahl der anderen Art zu begegnen und sich mit denselben wieder zu vereinigen, während ebensoviel gleichzeitig durch Zerfall wieder frei werden.

Geht nun aber ein Strom, so ändert sich der Sachverhalt; die positiv elektrischen Molecülbestandtheile, welche wir in der Zeichnung durch helle Kreisflächen darstellen, erhalten einen Zuwachs von Geschwindigkeit in der Richtung des positiven Stromes, die negativen, schwarz gezeichneten ebenso in der Richtung des negativen. Hierdurch werden die Bewegungszustände in der Weise modificirt, wie es Fig. 375 (a. f. S.) zeigt. In dieser Zeichnung ist angenommen, dass die in der Stromrichtung hinzukommende Geschwindigkeitscomponente ebenso gross sei, wie die vorher nach allen Richtungen schon vorhandene, was natürlich nur eine specielle Annahme ist. Die ursprünglich schon nach rechts bewegten positiven Theile haben dann eine doppelte Geschwindigkeit nach rechts. Die ursprünglich nach links bewegten positiven Theile stehen still, die senkrecht zur Stromrichtung bewegten erhalten eine unter 45° zur Strom-

richtung geneigte Richtung, die vorher unter 45° zur Stromrichtung geneigten nähern sich dieser Richtung und erhalten entsprechenden Zu-

Fig. 375.



wachs der Geschwindigkeit u. s. f. Dasselbe gilt für die negativen bezüglich der Bewegung nach links. Daraus resultirt eine überwiegende Bewegung der positiven Theile in der Richtung des positiven und ebenso eine der negativen Theile in der Richtung des negativen Stroms. Längs der Strombahn zwischen den Elektroden bleiben deshalb die Bestandtheile beiderlei Art gleich häufig, ist also keine Veranlassung vorhanden, die Anzahl der Zersetzungen gegenüber der Anzahl der Rückverbindungen zu vermehren, die Flüssigkeit bleibt also im Ganzen unverändert. Nicht so in der Nähe der Elektroden. An der positiven Elektrode häufen sich die negativen Bestandtheile, sie finden daselbst nicht mehr die gleiche Anzahl positiver Bestandtheile. Die Anzahl der Wiedervereinigungen wird daher geringer, es sammelt sich ein Ueberschuss negativer Bestandtheile bleibend an. Ebenso sammelt sich ein Ueberschuss positiver Bestandtheile an der negativen Elektrode. Es ist jedoch nicht nöthig, dass die beiderlei Arten der Bestandtheile durch die hinzutretende Kraft des Stromes in der Stromrichtung mit gleicher Geschwindigkeit bewegt werden, es ist vielmehr wahrscheinlich, dass diese Geschwindigkeit ungleich ist, so dass also durch irgend einen Querschnitt mehr positive Theile nach rechts als negative nach links gehen können. Die Stromstärke wird nur durch die algebraische Summe der in der Zeiteinheit durch den Querschnitt gehenden Theile bestimmt, so zwar, dass negative, in der negativen Stromrichtung gehende ebenso wie positive in der positiven Stromrichtung gehende als positiv, dagegen negative in der positiven Stromrichtung gehende, sowie positive in der negativen Stromrichtung gehende als negativ gezählt werden.

Die eben skizzirte Theorie ist nun in Uebereinstimmung mit der Erfahrung. Einmal erklärt sie, dass die elektrolytische Wirkung nicht erst von einer bestimmten Potentialdifferenz an beginnt, sondern dass schon die geringste Potentialdifferenz an den Elektroden zur Strombildung und Zersetzung Anlass giebt. Sie erklärt auch den Umstand,

dass die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten mit der Temperatur zunimmt, weil dadurch die moleculare Geschwindigkeit und unter Umständen auch die relative Anzahl der Theilmolecüle wächst; sie erklärt die Abhängigkeit der Leitungsfähigkeit von der Concentration. Die grössere Anzahl der zersetzbaren Molecüle muss bis zu einer gewissen Höhe der Bewegung der Elektricität günstig sein. Die Vermehrung der Molecüle kann derselben aber durch die zahlreichen Begegnungen wiederum hinderlich sein, woraus sich nach F. Kohlrausch erklärt, dass das Leitungsvermögen nicht proportional, sondern verzögert wächst mit dem Moleculargehalte der Lösung. Dieser Einfluss kann sogar bei manchen Lösungen zu einem Maximum der Leitungsfähigkeit für gewisse Concentrationen führen (§. 109).

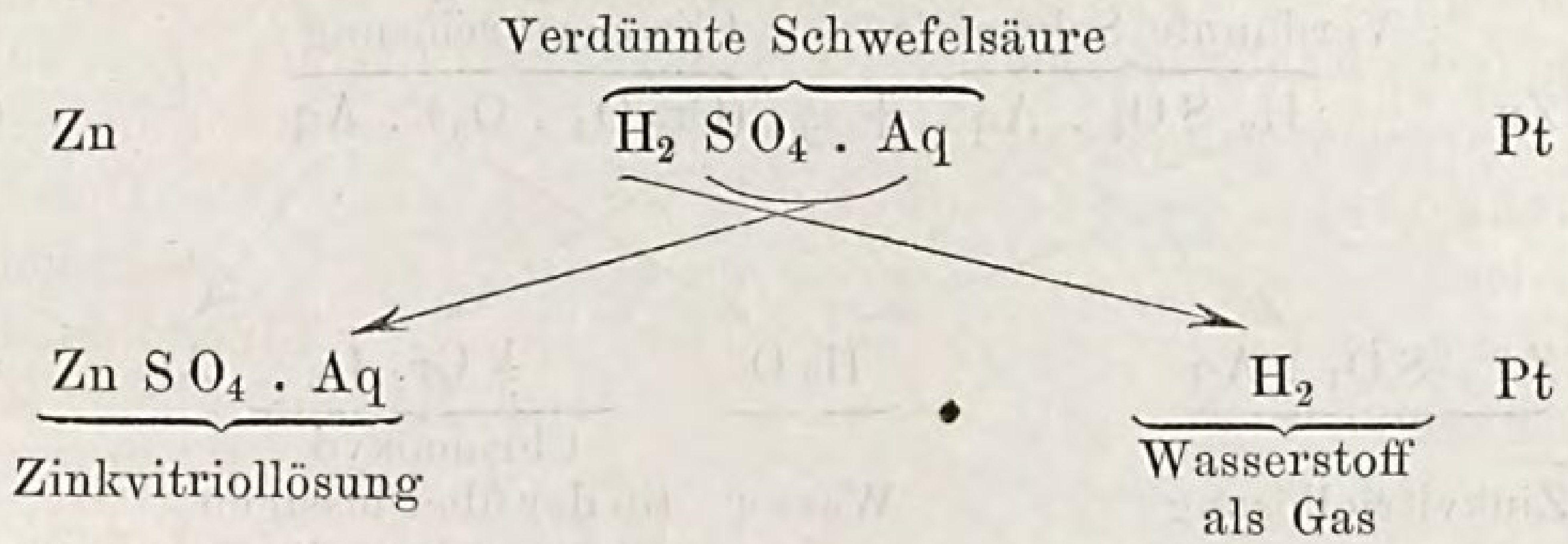
Endlich wollen wir, da uns für eine nähere Ausführung der Raum mangelt, noch anführen, dass nach den Untersuchungen von G. Wiedemann, Grotrian und F. Kohlrausch sich ergeben hat, dass der elektrolytische Widerstand, den die Molecüle bei ihrer Fortbewegung durch den Strom erleiden, von derselben Grössenordnung ist, wie der capillare Widerstand, der aus der Reibung in der Flüssigkeit stammt. Es steht also wohl nichts entgegen, die Elektrolyse als einen mechanischen Vorgang aufzufassen. Die Zersetzung erfolgt zunächst durch Dissociation, aus dem Elektricitätsgefälle (der Potentialdifferenz) stammt die Kraft, womit die zuvor zersetzten Theile der Molecüle nach entgegengesetzten Richtungen getrieben werden. Die sich bewegenden Molecültheile sind die Träger der Elektricitätsbewegung, vermitteln also den Strom; der Reibungswiderstand, den sie dabei finden, ist der Leitungswiderstand der Flüssigkeit. Diese Reibung ist demnach auch die Ursache der Wärmeentwickelung beim Durchgang des Stromes.

Die chemischen Vorgänge innerhalb der Volta'schen 133
Kette. Das Gesetz von Faraday gilt nicht allein für die in den Stromkreis einer Batterie eingeschalteten Zersetzungszellen, sondern auch für die chemischen Vorgänge innerhalb jedes Elementes, welches an dem Strome betheiligt ist. Verbindet man z. B. ein Bunsen'sches Element mit einem Knallgasvoltameter und zugleich mit einem Kupfervoltameter, so finden in allen dreien gleichzeitig Reactionen in äquivalenten Mengen statt. In derselben Zeit, in welcher im Knallgasvoltameter 1 Gewichtstheil Wasserstoff entwickelt wird, werden im Kupfervoltameter 31·7 Gewichtstheile Kupfer an der Kathode gefällt und im Bunsen'schen Elemente 32·5 Gewichtstheile Zink gelöst, sowie eine äquivalente Menge Salpetersäure reducirt. Dabei wird nur vorausgesetzt, dass in den Elementen keine locale Wirkung stattfinde (siehe §. 88), d. h. dass im ungeschlossenen Element keine chemische Veränderung vor sich geht, was bei den gebräuchlichen Ketten mit gut amalgamirtem Zink wenigstens sehr annähernd zutrifft. Fände eine solche locale Wirkung statt, so würde die Quantität des aufgelösten Zinks grösser sein, als der äquiva-

lenten Menge entspricht. Da nun die im Voltameter entwickelte Wasserstoffgas- (oder Knallgas) -menge als Maass der Stromstärke gilt, so folgt hieraus, dass die in jedem einzelnen Volta'schen Becher gelöste Zinkmenge stets proportional der Stromstärke ist. Durch Wägungen des Zinks könnten wir also ebenso die Stromstärke bestimmen, wie durch Messen des Knallgases oder durch Beobachten der Tangentenbussole. Praktisch empfehlenswerth freilich wäre diese Methode nicht, da die locale Wirkung nicht immer ganz aufgehoben ist. 1 cbcm Knallgas wiegt bei 0^0 und 760 mm 0·53613 mg und enthält $\frac{1}{9}$ seines Gewichtes, also 0·05957 mg Wasserstoff. Diesem ist äquivalent eine 32·5 mal so grosse Menge Zink, d. i. 1·936 mg. Demnach ist ein Strom, der nach Jacobi'schem Maasse die Stärke 1 hat, d. h. der in einer Minute 1 cbcm Knallgas entwickelt, von identischer Stärke wie ein solcher, der unter Auflösung von 1·936 mg Zink per Minute entsteht. Werden also in einer Zelle z mg Zink per Minute gelöst, so entsteht ein Strom, der nach Jacobi'schem Maasse die Intensität $\frac{z}{1 \cdot 936}$ besitzt.

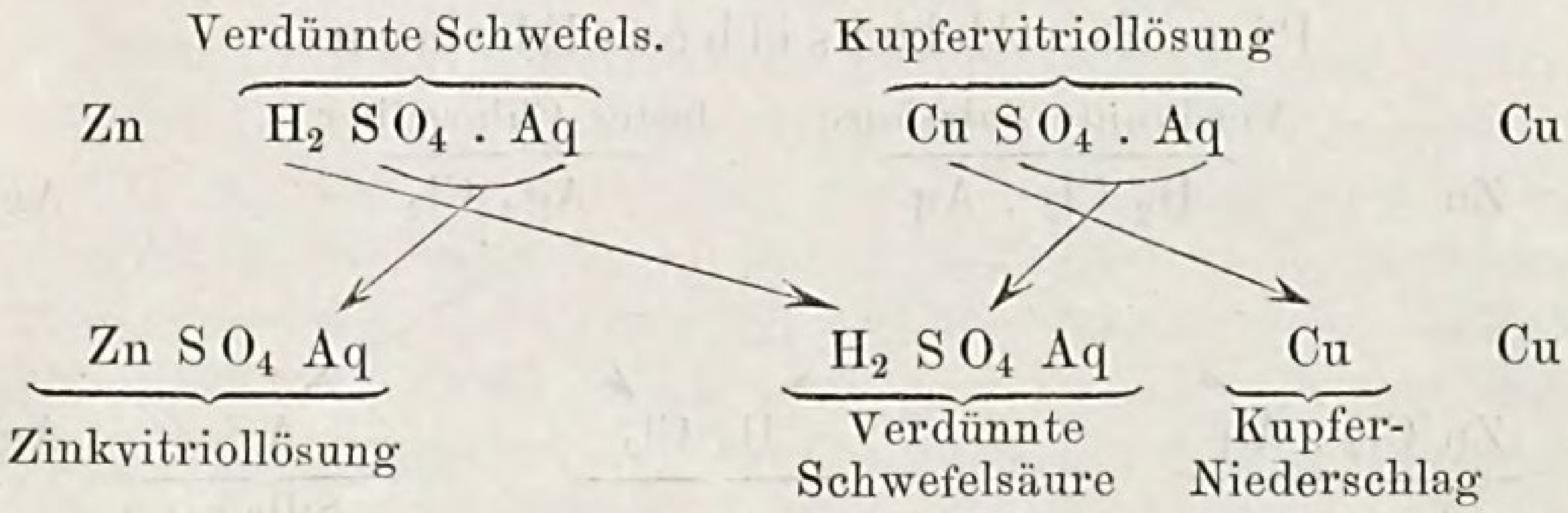
Die Auflösung von Zink ist aber nicht der einzige chemische Vorgang innerhalb der gebräuchlichen Ketten. Wir haben in §. 88 versprochen, nach Abhandlung der Elektrolyse die Vorgänge zu erklären und gehen nun daran, dieses Versprechen zu erfüllen. Zu diesem Zwecke geben wir zunächst für sechs der gebräuchlichsten Elemente, nämlich jene von Smee, Daniell, Grove, Bunsen, Pincus und Léclanché, ein Schema, in welchem die Gruppirung der Elemente vor und nach der Stromwirkung übersichtlich dargestellt ist. Bei jedem einzelnen Elemente fügen wir bei eine in der von Thomsen eingeführten Bezeichnungsweise ausgedrückte Zusammenstellung der durch die chemischen Vorgänge im Elemente bedingten Verbindungen und Zersetzungen sammt den zugehörigen calorimetrischen Effecten, da wir diese Werthe später gebrauchen werden. Das in der Schwefelsäure enthaltene oder sonst an der Reaction wesentlich theilnehmende Wasser ist durch H_2O, das nur als Lösungsmittel auftretende Wasser mit Aq bezeichnet. Demnach bedeutet z. B. $H_2SO_4 \, . \, Aq$ soviel wie $H_2SO_4 \, . \, x H_2O$, wo x 100 bis 200 Molecüle bezeichnen mag, d. h. eine mit 100 bis 200 Molecülen Wasser verdünnte Schwefelsäure.

Smee'sches Element.



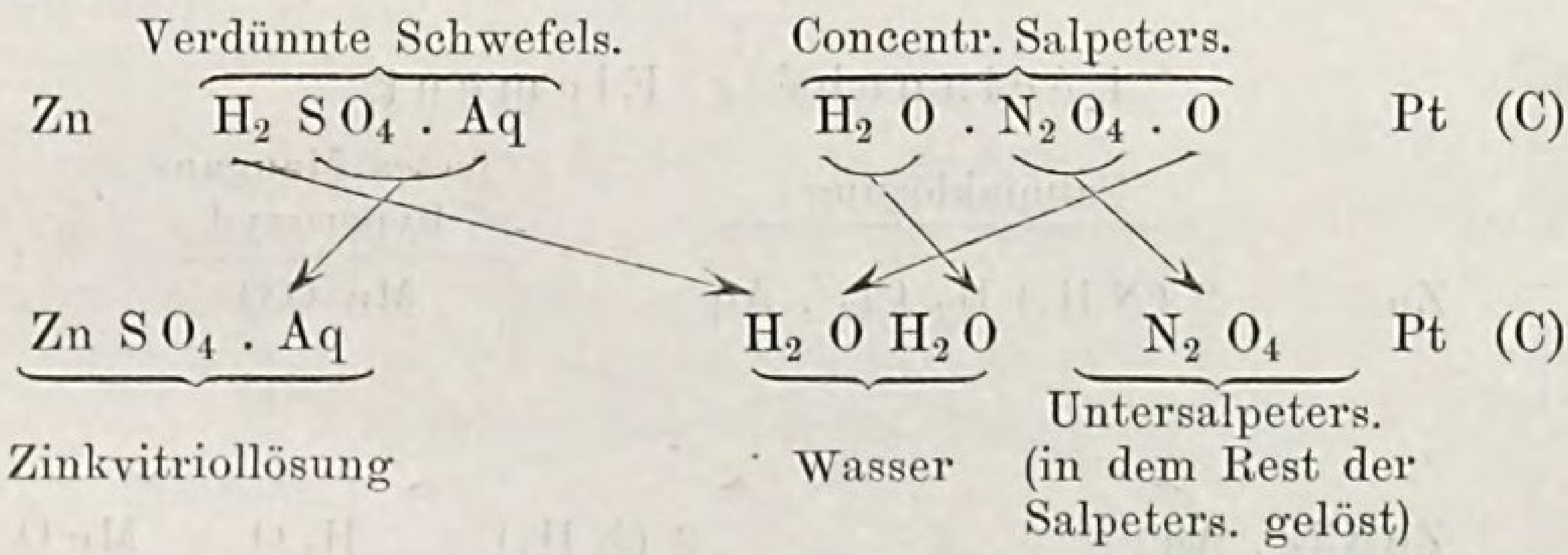
In Verbindung getretene Bestandtheile: Zn, O, SO_3 Aq Calor. Effect = + 106 090 Cal.
Von einander getrennte Bestandtheile: H_2, O „ — 68 360 „
Totaler calor. Effect = + 37 730 Cal.

Daniell'sches Element.



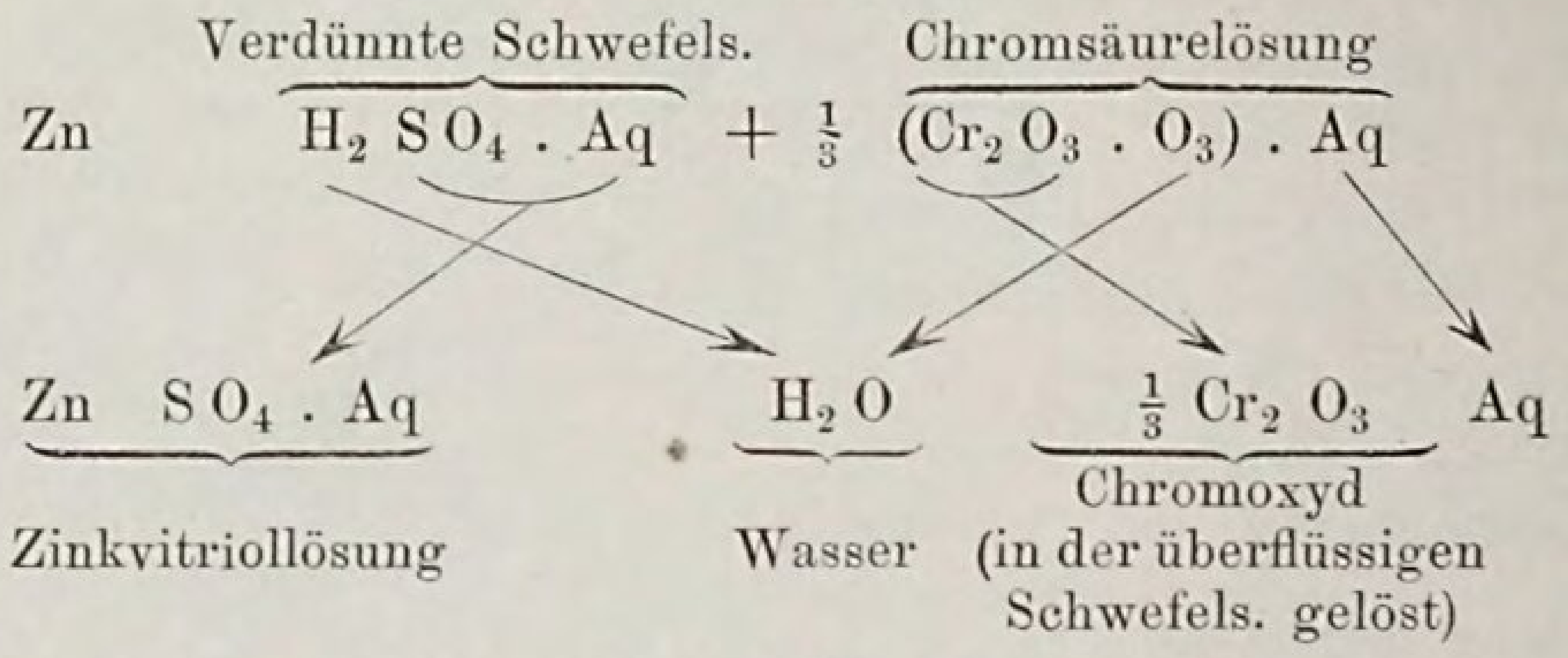
In Verbindung getreten: Zn, O, SO_3 Aq Calor. Effect = + 106 090 Cal.
Von einander getrennt: Cu, O, SO_3 Aq „ „ = — 55 960 „
Totaler calor. Effect = + 50 130 Cal.

Grove's (Bunsen's) Salpetersäure-Element.



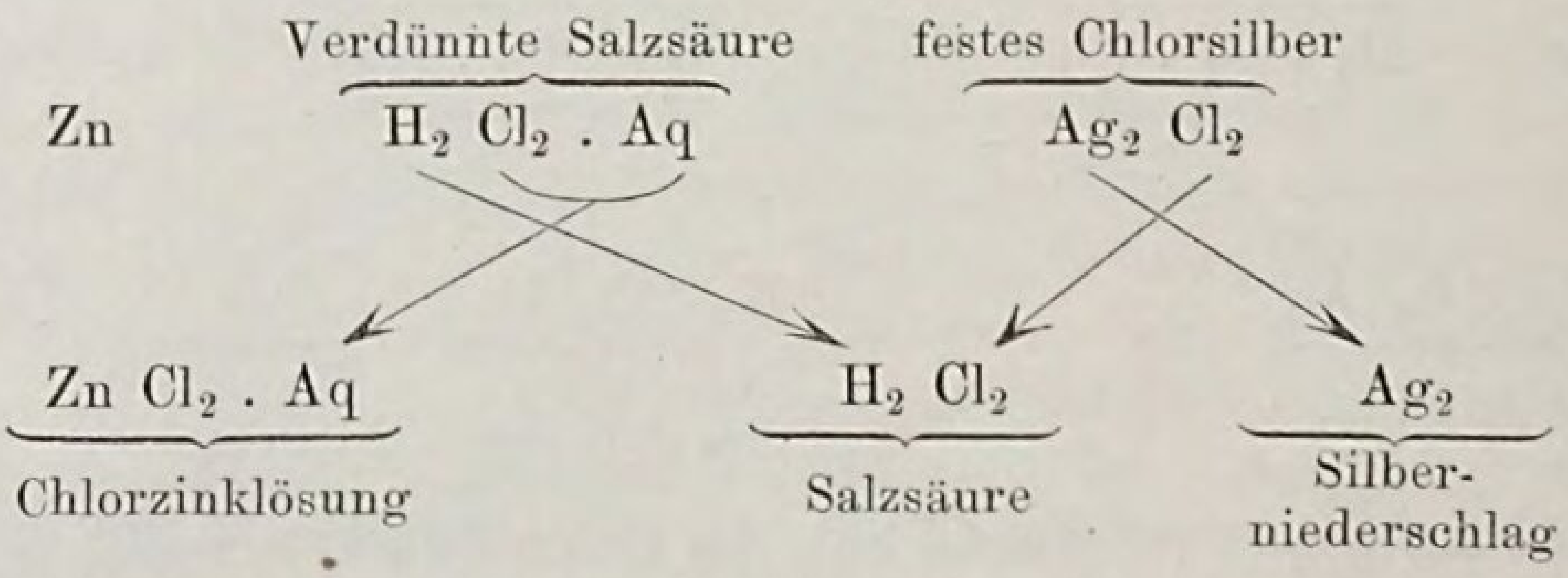
In Verbindung getreten: Zn, O, SO_3 Aq Calor. Effect = + 106 090 Cal.
Von einander getrennt wurden N_2O_4, O, H_2O „ „ = — 10 010 „
Totaler calor. Effect = 96 080 Cal.

Bunsen's Chromsäure-Element.



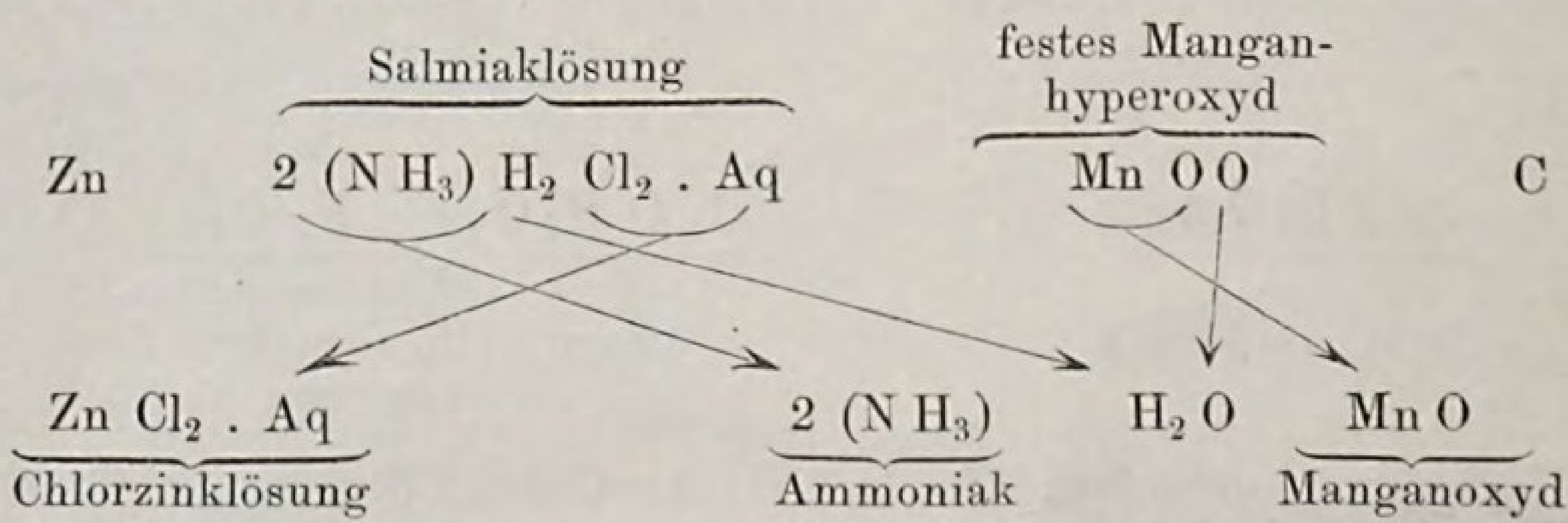
In Verbindung getreten: Zn, O, SO_3 Aq Calor. Effect = + 106 090 Cal.
Von einander getrennt wurden: $\frac{1}{3}(Cr_2O_3 . O_3)$, Aq " " — 6 300 "
Totaler calor. Effect = + 99 790 Cal.

Pincus' Chlorsilber-Element.



In Verbindung getreten sind: Zn, Cl_2, Aq Calor. Effect = + 112 840 Cal.
Von einander getrennt wurden: Ag_2, Cl_2 " " — 58 760 "
Totaler calor. Effect + 54 080 Cal.

Léclanché's Element.



Die calorimetrischen Effecte dieses Elementes sind noch nicht genügend untersucht.

Ueber die Art und Weise, wie die chemischen Elemente aus der ursprünglichen Gruppirung in die neue Gruppirung übergehen, lassen sich keine ganz bestimmten Behauptungen aufstellen. Aus elektrolytischen Versuchen über die Zersetzung geschichteter Flüssigkeiten scheint hervorzugehen, dass zunächst jede einzelne Flüssigkeit für sich in Anion und Kation zerlegt wird, dass das Anion der einen mit dem Kation der anderen beim Zusammentreffen sich vereinigen, während die anderen beiden Ionen den Elektroden zuwandern. Man kann sich demnach in analoger Weise den Vorgang im Daniell'schen Elemente so vorstellen:

Zuerst wird sowohl die verdünnte Schwefelsäure als die Kupfervitriollösung zersetzt und zwar nach den Gleichungen:

$$H_2SO_4 \,.\, Aq = \qquad\qquad CuSO_4 \,.\, Aq =$$
$$\longleftarrow SO_4 + Aq + H_2 \longrightarrow \qquad \longleftarrow SO_4 + Aq + Cu \longrightarrow$$

Hierauf folgen die Verbindungsvorgänge:

$$Zn + SO_4 + Aq = ZnSO_4\,Aq \qquad H_2 + SO_4 + Aq = H_2SO_4\,Aq$$

Cu setzt sich an Cu.

Für die Berechnung des calorimetrischen Effectes ist man aber genöthigt, den Vorgang in andere Phasen zu zerlegen. Ein Fehler entsteht daraus durchaus nicht, weil es für den Gesammtwärmeeffect ganz gleichgiltig ist, wie der Uebergang aus der Anfangsgruppirung in die Endgruppirung stattfindet (siehe Bd. II, 2, §. 81 I.). In der Calorimetrie können wir mit dem Körper SO_4 nichts anfangen, weil er sich nicht frei darstellen lässt. Wir denken uns statt dessen zunächst die vorhandenen Verbindungen in einfachere, wirklich in freiem Zustande darstellbare Theile zerlegt und dann daraus die Endgruppen zusammengesetzt. Also z. B.: Wir denken uns zuerst $CuSO_4\,Aq$ zerlegt in CuO und $SO_3\,Aq$. Der dazu gehörige Wärmeeffect ist die negativ gerechnete Lösungswärme von Kupferoxyd in verdünnter Schwefelsäure. Rechnen wir noch dazu die negative Verbrennungswärme von Kupfer, so haben wir den totalen Wärmeeffect für die Zerlegung von $CuSO_4\,Aq$ in Cu, O und $SO_3\,Aq$.

Jetzt beachten wir die Reaction

$$Zn + O + SO_3\,Aq = ZnSO_4\,Aq.$$

Wir erhalten ihren Wärmeeffect, indem wir die Verbrennungswärme des Zinks zur Lösungswärme des Zinkoxyds in verdünnter Schwefelsäure addiren. Damit ist der ganze Process vollendet. Sein totaler Wärmeeffect ist die algebraische Summe der Theileffecte. Auf ähnliche Weise sind auch bei den anderen Ketten die calorimetrischen Effecte zu erhalten.

Der Grad der Verdünnung ist nicht ganz ohne Einfluss auf das schliessliche Resultat, doch meistens so klein, dass wir hier davon absehen können.

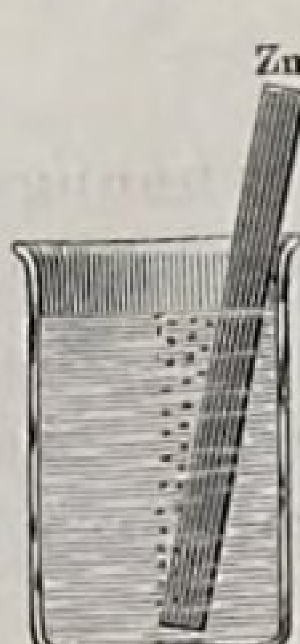
Die totalen Wärmeeffecte beziehen sich natürlicher Weise auf Umsetzungen von Molecülgewichten in Grammen und sind nach Grammcalorien

gemessen. Wenn also z. B. der totale Wärmeeffect des Daniell'schen Elementes = 50130 Calorien angegeben ist, so heisst dies, dass (zunächst ohne allen Strom) die Umsetzung von 65 g Zink mit der äquivalenten Menge von Kupfervitriol in Zinkvitriollösung und Kupfer eine solche Menge Wärme frei werden lässt, dass dadurch 50130 g Wasser um 1° C. erwärmt werden könnten. Nach den Erklärungen in §. 81 der Wärmelehre ist also diese Zahl 50130 identisch mit der Energiedifferenz, welche diesem Stoffe in ihrer Anordnung vor und nach der Umsetzung entspricht; oder mit anderen Worten: durch diese Umsetzung wird ein Energiequantum von 50130 Einheiten frei, es kann also durch die Umsetzung eine den 50130 Calorien äquivalente Menge Arbeit erzeugt werden.

134 **Zusammenhang zwischen der Stromwärme und der chemischen Energie der Volta'schen Kette.** H. Helmholtz hat, so viel uns bekannt, zuerst im Jahre 1847 in seiner denkwürdigen Schrift: „Die Erhaltung der Kraft“, den Satz ausgesprochen, dass die gesammte in einem Stromkreise erzeugte Wärmemenge gleich jener sein muss, welche durch die chemischen Processe in der Kette frei wird. Dieser von Thomson weiter ausgeführte Grundsatz ist von grosser Wichtigkeit. Um ihn nachzuweisen, wollen wir die manchmal ziemlich verwickelten Methoden, deren sich verschiedene Physiker, z. B. Favre, Thomsen, Raoult, Joule, Bosscha u. A., bedienten, hier in vereinfachter Form vorführen. Wir denken uns zu diesem Zwecke eine Reihe möglichst einfach angeordneter Versuche ausgeführt, die wir durch schematische Zeichnungen verdeutlichen wollen.

1. Versuch. In ein Glasgefäss mit verdünnter Schwefelsäure tauchen wir ein gewogenes Stück nicht amalgamirtes Zink. (Fig. 376). Es tritt Wasserstoffentwickelung ein und die Flüssigkeit erwärmt sich.

Fig. 376.



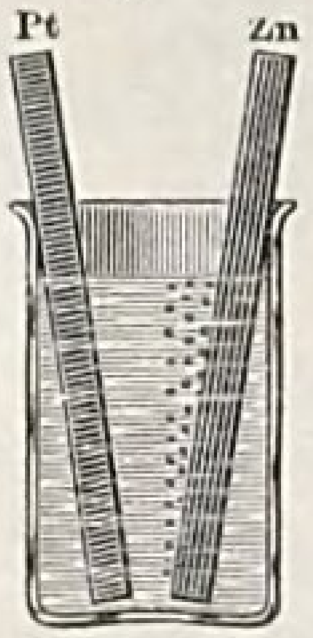
Nach einiger Zeit wird das Zink herausgenommen und dessen Gewichtsverlust z in Grammen bestimmt. Ebenso wird vor und nach dem Versuche die Temperatur gemessen und aus dem Temperaturanstieg durch Multiplication mit dem Wasserwerthe des ganzen Apparates die Wärmemenge q bestimmt, welche frei wurde. Um daraus diejenige Wärmemenge Q zu berechnen, welche durch die Auflösung eines Molecüls, d. i. 65 g Zink, unter denselben Umständen entwickelt worden wäre, setzen wir die Proportion

$$Q : q = 65 : z \text{ an, und finden } Q = 65\,\frac{q}{z}.$$

Ein gut geleiteter Versuch dieser Art würde uns für Q eine Zahl nahe 37 730 liefern.

Man kann diese Zahl auch aus anderen Daten berechnen. Nach J. Thomsen's Messungen ist die Verbindungswärme von 1 Molecül gasförmigem Wasserstoff (2 g) mit 1 Molecül Sauerstoff (16 g) = 68 360; die Oxydationswärme von 1 Molecül Zink zu Zinkoxyd und die Lösungswärme desselben in verdünnter Schwefelsäure zusammen betragen 106 090 Calorien.

Fig. 377.



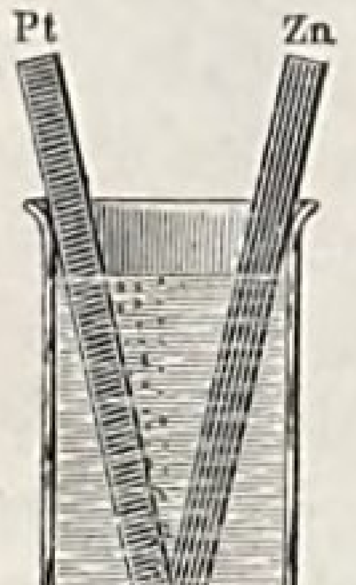
In unserm Processe wird die letztere Wärmemenge frei, dagegen die erstere verbraucht, mithin ist der ganze Betrag der definitiv freigewordenen Wärme

$$Q = 106\,090 - 68\,360 = 37\,730 \text{ Cal.}$$

An dem Verlaufe unseres Versuches wäre keine wesentliche Aenderung eingetreten, wenn wir, wie in Fig. 377 angedeutet ist, neben das Zinkstück Zn auch einen Platinstreifen Pt in die Flüssigkeit getaucht hätten, vorausgesetzt, dass das Platin nirgends mit dem Zink in Berührung gestanden.

2. Versuch. Wir verfahren wie im 1. Versuche, bringen aber, wie Fig. 378 andeutet, das Zinkstück innerhalb der Flüssigkeit mit dem Platin in Berührung. Die Gasentwickelung findet nun zum grösseren Theile am Platin statt. Allein dies ändert gar nichts an dem Werthe von Q. Für je 65 g Zink, welche gelöst werden, beträgt die Gesammtwärmeentwickelung Q wiederum 37730 Wärmeeinheiten. Von dieser Gesammtwärme ist ein Theil direct durch die chemische Wirkung des Zinks auf die Schwefelsäure frei geworden, der andere Theil ist dadurch entstanden, dass die beiden Metalle mit der Flüssigkeit ein Smee'sches Element bildeten, dessen Strom die Flüssigkeit und die Metalle bei seinem Durchgange erwärmte.

Fig. 378.



3. Versuch. Wir machen denselben Versuch mit einem gut amalgamirten Zinkstücke. Diesmal findet die Wasserstoffentwicklung nur am Platin statt, die locale direct chemische Wirkung am Zink ist gleich Null, die Gesammtwärme beträgt wiederum per 65 g Zink gleich viel wie früher, also ist wieder $Q = 37\,730$ und diese Wärme ist diesmal ausschliesslich durch den Strom geliefert worden.

4. Versuch. Wir verfahren wie im Versuch 3, nur bringen wir, wie Fig. 379 andeutet, die beiden Metalle nicht innerhalb der Flüssigkeit, sondern ausserhalb derselben zur Berührung. Die Messung liefert uns diesmal für Q eine kaum merklich kleinere Zahl. Es ist zwar im Ganzen, nachdem 65 g Zink gelöst waren, dieselbe Wärmemenge Q, wie in den früheren Versuchen, frei geworden, aber von dieser ist ein sehr kleiner kaum messbarer Betrag in dem ausserhalb der Flüssigkeiten gebliebenen Schliessungsbogen zurückgeblieben. Da nämlich nach dem Gesetz von Joule (§. 116) sich die von einem Strome entwickelte Wärme im ganzen

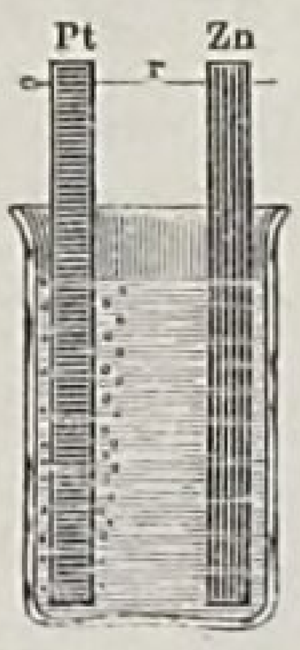
Fig. 379.



Schliessungskreise im Verhältniss der Widerstände vertheilt und der ausserhalb der Flüssigkeit vorhandene Bogen offenbar nur einen sehr kleinen Bruchtheil des ganzen Widerstandes ausmacht, so ist auch nur ein sehr kleiner Bruchtheil der Wärme in ihm frei geworden.

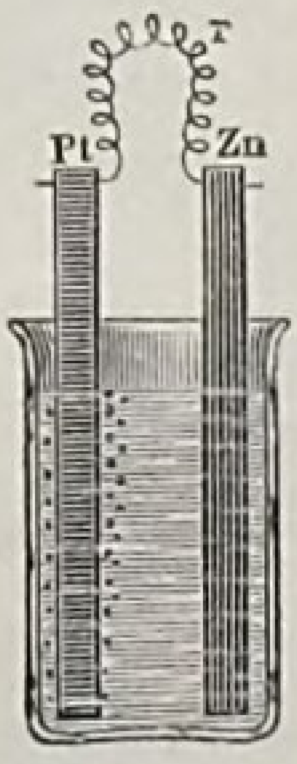
5. Versuch. Nun führen wir denselben Versuch mit der Abänderung durch, dass wir die beiden Metallstücke ausserhalb durch ein dünnes Drahtstück verbinden, Fig. 380. Dasselbe mag so gewählt sein, dass sein Widerstand sich zu jenem der Flüssigkeitssäule zwischen den Metallplatten verhält wie 1 : 9, so dass also sein Widerstand $\frac{1}{10}$ des Gesammtwiderstandes ist. Die Auflösung des Zinks durch den Strom wird dann etwas verlangsamt sein. Auf 65 g gelösten Zinks finden wir dann in der Flüssigkeit eine Wärmemenge $Q' = \frac{9}{10} Q$ entwickelt. Das fehlende $\frac{1}{10} Q$ ist also, wie wir vor der Hand vermuthen, im Schliessungsbogen ausserhalb der Flüssigkeit frei geworden und von dort in die Umgebung verloren gegangen.

Fig. 380.



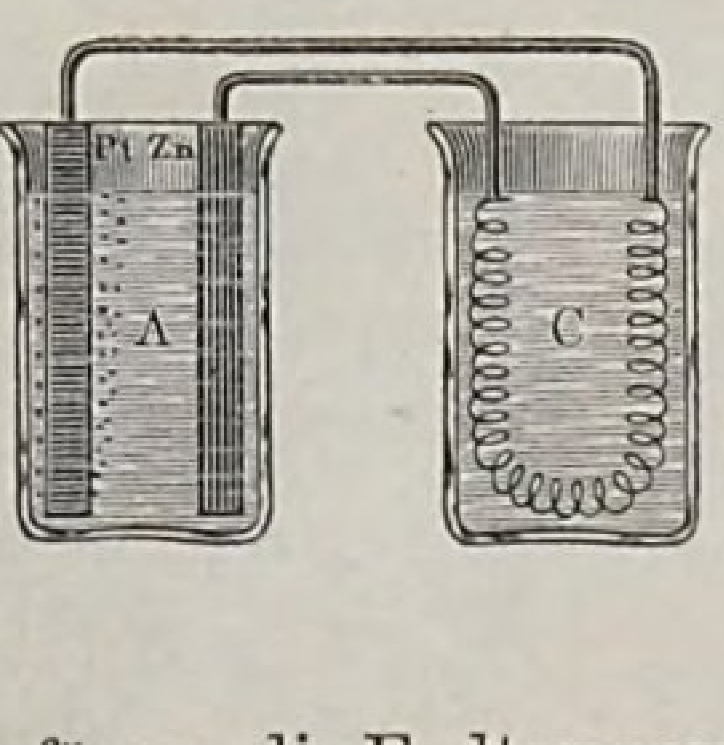
6. Versuch. Derselbe Versuch wird mit einem noch längeren Drahte ausserhalb der Flüssigkeit durchgeführt, dessen Widerstand wir genau ebenso gross wählen, wie jener der Flüssigkeitssäule im Elemente ist (Fig. 381). Die Auflösung des Zinks dauert dann noch einmal so lange, als bei den Versuchen 3 und 4. Wenn wir aber abwarten, bis wiederum 65 g Zink gelöst sind, so ist diesmal die innerhalb der Flüssigkeit entwickelte Wärmemenge $Q'' = \frac{1}{2} Q$. Die andere Hälfte der Wärme ist also vermuthlich im Drahte frei geworden.

Fig. 381.



7. Versuch. Um darüber Gewissheit zu erlangen, richten wir nun den Apparat so ein, dass wir die im Drahte entwickelte Wärme separat in einem Calorimeter auffangen und messen können. Wir versenken daher, Fig. 382, die Spirale in ein mit einer nicht leitenden Flüssigkeit gefülltes Calorimetergefäss und verbinden deren Enden mit den Metallplatten durch Drähte von solcher Dicke, dass deren Widerstand verschwindend klein wird, also auch die in ihnen frei werdende Wärme einen verschwindend kleinen Bruchtheil der ganzen ausmacht. Der Versuch wird dann folgendermaassen angestellt. Die Anfangstemperatur in A und C wird gemessen, dann die Verbindung hergestellt. Nach einiger Zeit wird der Strom unterbrochen, in beiden Gefässen die Endtemperatur gemessen und wie bei allen calorimetrischen Versuchen wegen der Verluste nach Aussen corrigirt. Die beiderseitigen Temperaturanstiege mit dem Wasserwerthe multiplicirt geben die Wärme-

Fig. 382.

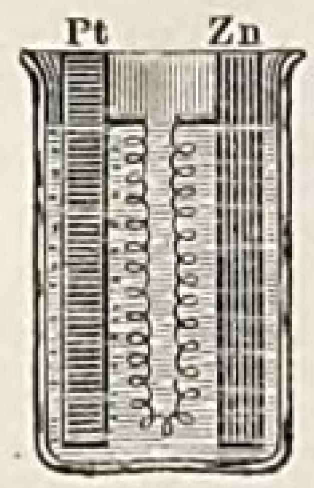


mengen, welche durch die Auflösung jener Zinkmenge entwickelt wurden, die man als Gewichtsverlust des Zinkstückes findet. Durch Umrechnung auf 65 g Zink erhalten wir dann die Wärmemengen Q_1 und Q_2, die in A und in C frei werden, wenn in A ein Molecül Zink durch den Strom gelöst wird.

Man findet stets (abgesehen von Versuchsfehlern) : $Q_1 + Q_2 = Q = 37730$. Ausserdem findet man stets, dass $Q_1 : Q_2$ gleich dem Verhältniss der Widerstände in A und in der Spirale sei, wie es das Gesetz von Joule ausspricht.

8. Versuch. Wenn es sich nur darum handelt, zu zeigen, dass $Q_1 + Q_2 = Q$ ist, so braucht man nicht die Drahtspirale in ein separates Calorimeter zu versenken, es würde genügen, sie mit einem isolirenden Ueberzuge versehen in die Flüssigkeit des Elementes selbst einzutauchen, etwa wie Fig. 383 andeutet. Nach Verbrauch von 65 g Zink würde die Gesammtwärmemenge Q immer wieder gleich gross, nämlich $+ 37730$ sein. Ob dabei die angewendete Spirale von grösserem oder geringerem Widerstande ist, ändert dann nichts an dieser Zahl, wohl aber hat es Einfluss auf die Stromstärke, also auch auf die Quantität Zink, die in der Zeiteinheit gelöst wird, beziehungsweise auf die Zeit, welche nöthig ist, um 1 Molecül Zink zu lösen.

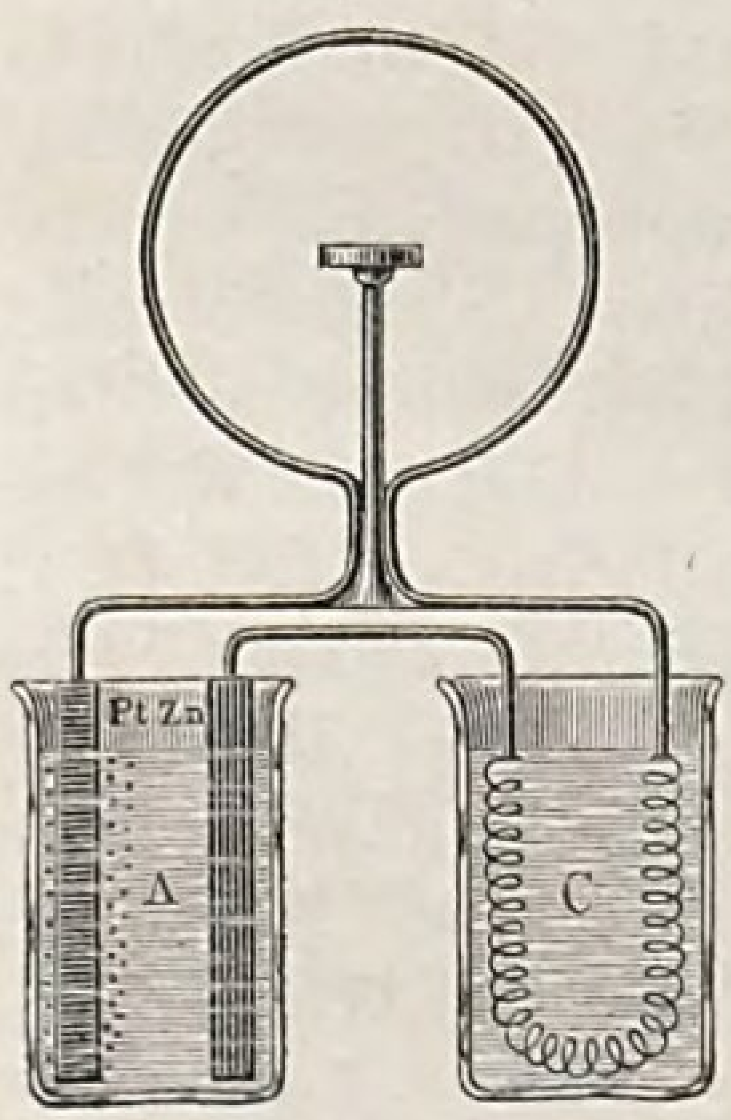
Fig. 383.



Wir könnten aber diese Unabhängigkeit der Grösse Q von dem Gesammtwiderstande und von der Stromstärke auch dadurch zeigen, dass wir dieselben Platten in verschiedenem Abstande von einander eintauchen, während sie innerhalb der Flüssigkeit leitend verbunden sind, oder dass wir die Grösse der Oberfläche der Platten verändern. Das Alles würde wohl die Stromstärke, den Gesammtwiderstand und die Schnelligkeit der Lösung, nicht aber die Wärmemenge Q ändern können, die per 65 g gelösten Zinks entwickelt wird.

9. Versuch. Um bei diesen Versuchen nicht immer die Gewichtsabnahme des Zinkstückes durch Wägung bestimmen zu müssen, könnten wir, wie Fig. 384 andeutet, eine Weber'sche Tangentenbussole von verschwindend kleinem Widerstande in den Schliessungskreis einschalten und die gelöste Zinkmenge auf folgende Weise berechnen.

Fig. 384.



Aus dem Ausschlage der Nadel $= \alpha$ berechnen wir die Stromstärke $J = R \ tang \ \alpha$ (§. 95) in Jacobi'schem Maasse. J ist dann die Anzahl der Cubikcentimeter Knallgas, welche dieser Strom im Voltameter entwickeln würde. Die von ihm gelöste Zinkmenge in Milligrammen ist aber nach §. 133 1·936 mal so gross, also $= 0{\cdot}001936 \, J$ Gramm. Hat demnach der

Strom t Minuten lang gedauert, so ist die gelöste Zinkmenge $=$ $0{\cdot}001936\, J.t$.

Aber auch die Messung der Wärmemenge in A kann umgangen werden, da sie oft Schwierigkeiten bieten dürfte. Es genügt, die Wärmemenge q_2 zu messen, welche durch den Strom J in t Minuten im Calorimeter C an der Spirale, deren Widerstand $= w$ sein mag, entwickelt wird. Nennen wir den Widerstand des ganzen Stromkreises W, und die im ganzen Stromkreise in t Minuten durch den Strom J entwickelte Wärmemenge q, so gilt nach Joule's Gesetz die Proportion

$$q : q_2 = W : w,$$

also

$$q = \frac{q_2\, W}{w}.$$

Ist die elektromotorische Kraft der angewendeten Kette $= E$, so ist nach Ohm's Gesetz

$$W = \frac{E}{J},$$

folglich erhalten wir für q

$$q = \frac{q_2\, E}{w\, J}.$$

Dies ist die Wärmemenge, die der Zinkmenge $0{\cdot}001936\, Jt$ entspricht. Folglich entspricht der Zinkmenge 65 g die Wärmemenge:

$$Q = \frac{65}{0{\cdot}001936}\, \frac{q_2\, E}{w\, J^2 t} = 33574\, \frac{q_2}{w\, J^2 t}\, E \quad . \; . \; . \; . \quad 1)$$

Wollte man die Wärmemenge nicht auf 1 Molecül Zink, sondern auf 1 cbcm Knallgas beziehen, so wäre einfach der Umrechnungsfactor $\frac{65}{0{\cdot}001956}$ wegzulassen, also

$$C = \frac{q_2\, E}{w\, J^2 t} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

Dies ist im Wesentlichen derselbe Weg, auf welchem mehrere Physiker, unter diesen neuerdings J. Thomsen (Wiedem. Ann. Bd. XI., p. 246) für die Daniell'sche Kette die Gesammtwärmemenge bestimmt haben, welche durch den Strom im ganzen Schliessungskreise erzeugt wird. Favre bediente sich dagegen einer Methode, welche mit dem oben beschriebenen 7. Versuch im Wesentlichen übereinstimmt, die Wärmemessung geschah jedoch mittelst des Quecksilbercalorimeters (Bd. II, 2, S. 314). Dem Apparate Fig. 382 wurde eine geeignete äussere Form gegeben, so dass die langgestreckten Gefässe A und C in die beiden Muffeln des Quecksilbercalorimeters eingesetzt werden konnten. Setzte man nur A ein, so erhielt man die im Elemente entwickelte Wärme q_1, setzte man nur C ein, so erhielt man nur die im äusseren Widerstande

entwickelte Wärme q_2, setzt man dagegen beide ein, so erhielt man $q_1 + q_2$; diese Summe wurde verglichen mit der Wärmemenge q, welche bei der directen Auflösung derselben Zinkmenge frei wurde. Favre fand so auf 1 Molecül Zink $q_1 + q_2$ im Mittel $= 36\,380$, $q = 36\,888$, also nahe dieselbe Zahl. J. Thomsen hat aus seinen Messungen, wie wir oben bei Versuch 1. zeigten, die Zahl 37 730 berechnet.

Für das Daniell'sche Element hat J. Thomsen in der citirten Abhandlung folgende Zahlen mitgetheilt. Auf ein Molecül Zink berechnet ist die Wärmeentwickelung durch den Strom

50 330	nach	Messungen	von	Lenz 1844,
53 200	„	„	„	J. Thomsen 1856,
47 800	„	„	„	Raoult 1865,
50 290	„	„	„	J. Thomsen 1880,

die Wärmeentwickelung durch die chemischen Processe:

50 130 nach Messungen von J. Thomsen 1875 (s. §. 133).

Es ist also für das Smee'sche Element durch Favre, für das Daniell'sche durch Thomsen experimentell die Richtigkeit des Helmholtz'schen Satzes bewiesen. Für die anderen gebräuchlichen Ketten werden wir den Beweis im folgenden Paragraphen beibringen.

Die chemische Energie einer Kette als Maass ihrer elektromotorischen Kraft. Fassen wir noch einmal die Gleichung 2) §. 134 ins Auge: 135

$$C = \frac{q_2 E}{w J^2 t}.$$

Darin bedeutet q_2 die Wärmemenge, welche von einem Strom von der Intensität J in einem Widerstande von der Grösse w in t Minuten geliefert wird.

C bedeutet die Gesammtwärme, welche in dem ganzen Schliessungskreise eines Elementes von der elektromotorischen Kraft E entwickelt wird, wenn dessen Strom so lange gedauert hat, bis dadurch 1 cbcm Knallgas zersetzt werden konnte. Nennen wir nun c jene Wärmemenge, welche von einem Strome von der Stärke 1 in einen Widerstand $= 1$ in der Zeit einer Minute entwickelt wird, so ist nach Joule's Gesetz:

$$q_2 = c\, w J^2 t,$$

mithin ist $\frac{q_2}{w J^2 t} = c$ und wir erhalten für C:

$$C = c\, E.$$

c ist eine Constante, deren Zahlenwerth von den Einheiten abhängt, nach welchen Stromstärke und Widerstand gemessen werden.

Da für das Daniell'sche Element C und E bekannt sind, so können wir den Werth von c daraus berechnen.

C ist die auf 1 cbcm Knallgas bezogene Wärmeentwickelung des Daniell'schen Elementes, also nach J. Thomsen $= 50\,130 \cdot \frac{0\text{·}001936}{65}$ $= 1\text{·}493$.

E ist in Jacobi-Siemens-Einheiten gemessen:

nach Buff $= 11\text{·}67$
„ Bosscha . . $= 11\text{·}37$
„ v. Waltenhofen $= 12\text{·}04$
(Pogg. Ann. Bd. 133, p. 477).

Demnach läge der Werth von c zwischen 0·130 und 0·124. Es ist dies dieselbe Constante, welche wir im §. 116 als die des Joule'schen Gesetzes kennen gelernt haben: Dasselbe lautet nämlich:

$$C = c E J T = c J^2 W T.$$

C ist dann überhaupt die Wärmemenge, welche ein Element von der elektromotorischen Kraft E hervorbringt, wenn es einen Strom von der Stärke J eine Zeit T hindurch liefert. Für gleiche Zeitdauer und gleiche Stromstärke, also für gleichen Zinkverbrauch in der Kette ist demnach die vom Strom gelieferte Wärme proportional der elektromotorischen Kraft des Elementes. Folglich, da diese Wärme, wie wir im vorigen Paragraphen sahen, identisch ist mit der chemischen Energie des Elementes, so ist auch:

Die chemische Energie der Elemente proportional ihrer elektromotorischen Kraft. Man kann daher auch sagen, die chemische Energie eines Elementes sei ein Maass seiner elektromotorischen Kraft.

Wir können diesen wichtigen Satz auch durch folgende einfache Betrachtungsweise ableiten. Denken wir uns zwei verschiedene Elemente von den elektromotorischen Kräften E_1 und E_2 jedes für sich durch einen Leiter geschlossen, so dass die Gesammtwiderstände der beiden Stromkreise W_1 und W_2 sich verhalten wie $E_1 : E_2$, dann sind die beiden Stromstärken einander gleich, folglich müssen sich die durch den Strom entwickelten Wärmemengen verhalten, wie diese Widerstände, also auch wie die elektromotorischen Kräfte. Ist dann einmal erwiesen, dass die durch den Strom entwickelten Wärmemengen diejenigen seien, welche den chemischen Vorgängen in den Ketten entsprechen, dann sind die calorimetrischen Effecte der letzteren (bezogen auf gleiche Stromstärken, also auch auf äquivalente Mengen) auch proportional den elektromotorischen Kräften.

Kennt man also die relativen Werthe der elektromotorischen Kräfte der gebräuchlichen Ketten, so müssen dieselben zu einander sich ebenso verhalten, wie die calorimetrischen Effecte (chemischen Energien).

Um diese Uebereinstimmung nachzuweisen, sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt: in der ersten Spalte die Namen mehrerer Elemente, in der zweiten die von Thomsen calorimetrisch ausgemittelten

Werthe ihrer chemischen Energie per Molecül, wie sie im §. 133 mitgetheilt wurden, in der dritten Spalte die chemische Energie umgerechnet auf jene des Daniell'schen Elementes als Einheit, in der vierten Spalte die theils von Thomsen, theils von Anderen bestimmten elektromotorischen Kräfte, ebenfalls auf Daniell = 1 gerechnet. Es sind dabei noch die im §. 133 nicht aufgeführten Elemente von Regnauld, Thomsen und Ponci mit aufgeführt.

Namen des Elements	Chemische Energie, per Molecül in Grammcalorien	Chemische Energie, die des Daniell = 1	Beobachtete elektrom. Kraft Daniell = 1
Daniell	50130	1	1
Grove (Bunsen) (mit concentrirter Salpetersäure)	96080	1·92	1·86
Bunsen (Chromsäure)	99790	1·99	1·85
Smee	37730	0·75	0·73
Pincus	54080	1·08	1·065
Regnauld (Zink in verdünnter Schwefelsäure, Cadmium in Cadmiumsulphat)	16590	0·33	0·33
Thomsen (Kupfer in verdünnter Schwefeläure, Kohle in concentrirter Salpetersäure)	45950	0·92	0·88
Ponci (Eisen in verdünnter Salzsäure, Kohle in Eisenchlorid)	44430	0·89	0·90

Wie man sich überzeugen kann, stimmen die Zahlenwerthe der beiden letzten Spalten auffallend nahe überein; für die Abweichungen einzelner lassen sich übrigens noch specielle Gründe angeben, auf die wir hier nicht eingehen.

Wir wollen an das Vorgetragene noch eine Betrachtung anknüpfen, welche von Wichtigkeit ist.

Denken wir uns noch einmal zwei Elemente von den elektromotorischen Kräften E_1 und E_2 jedes für sich so geschlossen, dass die Stromstärke gleich gross ist. Es verhalten sich dann die Potentialunterschiede P_1 und P_2 an den Polen ebenso wie die Widerstände W_1 und W_2. Lassen wir nun die Widerstände W_1 und W_2 in gleichem Verhältnisse immer grösser werden, so werden die Stromstärken immer kleiner, bleiben aber unter sich gleich. Lassen wir die Widerstände in dieser Weise immer grösser werden, so nähern sich die beiden Stromstärken der Grösse Null. Die Potentialunterschiede wachsen, bleiben aber stets proportional den Widerständen und den elektromotorischen Kräften. Die Gränze, der wir uns so nähern, entspricht dem Falle, dass beide Stromstärken = Null sind und dass an Stelle der Widerstände vollkommene Isolirungen getreten sind. Daraus ergiebt sich also, dass die Potentialdifferenzen an den Polen der offenen Ketten ebenfalls proportional den elektromotorischen Kräften und folglich auch den chemischen Energien der Ketten sein müssen.

Man kann daher mittelst des Quadrantenelektrometers von Thomson elektromotorische Kräfte sowohl, als chemische Energien verschiedener Combinationen vergleichen, indem man die Aluminiumplatte der Reihe nach an die einen Pole der Ketten anlegt, während die anderen zur Erde abgeleitet sind. Die Ausschläge des Instrumentes sind dann (innerhalb kleiner Winkel) direct proportional den elektromotorischen Kräften und den Energiewerthen.

136 **Fr. Exner's Theorie des Volta'schen Elementes.** Wir haben schon an mehreren Stellen, insbesondere im §. 86 darauf hingewiesen, dass die Erklärung sowohl des Volta'schen Fundamentalversuches, als auch die der Volta'schen Kette durch Annahme einer Contactwirkung nicht haltbar sei, und dass Fr. Exner in Wien im Begriffe stehe, die Grundzüge einer neuen Theorie auszuarbeiten, und durch Versuche zu bestätigen, welche beide Gruppen von Erscheinungen ohne Annahme einer Contactkraft und ohne Widerspruch mit dem Gesetz von der Erhaltung der Energie zu erklären gestatte. Da leider diese Untersuchungen nicht früh genug erschienen waren, um bei der Bearbeitung des Galvanismus von Anfang an benutzt werden zu können, so wollen wir den Hauptinhalt derselben hier nachholen. Exner's Theorie des Volta'schen Elementes ist im Wesentlichen folgende:

Wir denken uns ein isolirtes Stück Zink in isolirtes, angesäuertes Wasser getaucht. Der chemische Process, der vor sich geht, hat einen Verbrauch chemischer Spannkraft zur Folge, verbrauchte chemische Energie muss daher in irgend einer Form wieder zum Vorschein kommen. Es geschieht dies durch Erzeugung elektrischer Spannkraft, indem negative Elektricität ins Zink, positive in die Flüssigkeit strömt. Dieser Process muss aber sehr bald eine Gränze erreichen, denn es sinkt dadurch beständig das Potentialniveau des Zinks und steigt das der

Flüssigkeit. Sobald aber die Potentialdifferenz eine bestimmte Grösse erreicht hat, die der die Elektricitäten trennenden Kraft entspricht, werden alle weiter entwickelten Elektricitätsmengen sich an der Trennungsstelle wieder vereinigen. Dieser Rückstrom entwickelt Wärme, wie jeder andere Strom und diese Wärme ist dieselbe, welche wir gewöhnlich die Auflösungswärme des Zinks nennen. Diese Wärme ist also eigentlich nicht direct durch den chemischen Process entstanden, sondern durch das Zwischenglied des elektrischen Stromes. Da die in jedem Momente erzeugten positiven und negativen Elektricitäten einander an Quantität gleich sind, so folgt daraus, dass die Aenderung des Potentials in beiden Substanzen im Allgemeinen mit verschiedener Geschwindigkeit vor sich gehen muss, je nach deren Capacitäten. Man versteht unter der Capacität eines Leiters diejenige Elektricitätsmenge, welche er aufnehmen kann, um das Potential Eins anzunehmen. Je grösser die Oberfläche eines Leiters, desto grösser ist im Allgemeinen dessen Capacität. Aber auch von der Form des Leiters ist dessen Capacität abhängig. Haben also Zink und Flüssigkeit nicht zufällig gleiche Capacität, so steigt das Potential auf der letzteren langsamer oder rascher, als es auf dem Zink sinkt und es können deshalb auch im schliesslichen Gleichgewichtszustande die freien Spannungen sehr verschieden sein, doch wird, wie immer auch die Dimensionen des Versuches gewählt werden, die Potentialdifferenz beider Leiter eine constante sein. Selbstverständlich muss auch, sobald das statische Gleichgewicht hergestellt ist, die Potentialfunction für alle Punkte eines jeden der Leiter denselben Werth haben.

Ein galvanisches Element bestände demnach in seiner einfachsten Form aus einem Metall und aus einer dasselbe angreifenden Flüssigkeit. Um aus demselben einen Strom zu gewinnen, muss man für Abfluss der Elektricitäten von den Polen weg Sorge tragen. So lange durch diesen Abfluss die Potentialdifferenz an der Angriffsstelle an der Gränze des Maximums gehalten wird, werden alle neu entwickelten Elektricitätsmengen zum Ersatze für die abgeflossenen verwendet, und brauchen demnach nicht rückwärts fliessend an der Angriffsstelle unter Wärmeentwickelung sich zu vereinigen. Könnte man sowohl das Zink als auch die Flüssigkeit unendlich gross machen, so würde dadurch stets für Abfluss von der Angriffsstelle gesorgt sein, und ein stationärer Strom entstehen. Da dies nicht möglich, so hilft man sich durch ein anderes einfacheres Mittel. Man verbindet durch zwei metallische, im Uebrigen aber vollkommen indifferente Leiter das Zink und die Flüssigkeit mit zwei Punkten ein und desselben unverhältnissmässig grossen Leiters, der Erde. Dadurch wird dasselbe Resultat erreicht, denn jetzt haben die Enden der Ableitungen des Potentials Null, ihre Anfänge dagegen besitzen die Potentialdifferenz Zink | Flüssigkeit, es muss somit durch die ganze Leitung ein stationärer Strom circuliren. Wählt man als Ableiter der Flüssigkeit Platin, so entsteht das Smee'sche Element. Doch ist nicht zu vergessen, dass das Platin hier nicht

als positiver Pol, sondern einzig und allein als ein Stück der Leitung zu betrachten ist. Da in jedem Momente gleiche und entgegengesetzte Elektricitätsmengen durch die Auflösung des Zinks geliefert werden, so ist es offenbar gar nicht nöthig, die beiden Ableitungen mit der Erde zu verbinden; es genügt, sie unter einander zu verbinden, da durch die Neutralisirung beider Elektricitäten stets irgendwo im Schliessungskreise ein Querschnitt mit dem Potential Null entstehen muss, und somit die Bedingung für einen stationären Strom gegeben ist. Damit haben wir aber ein geschlossenes Smee'sches Element geschaffen. In so vielen Gestalten man nun den chemischen Process einleiten und die Ableitungen herzustellen vermag, in ebenso vielen Gestalten erscheint uns das galvanische Element.

Um diese Theorie experimentell zu begründen, hat Exner durch sorgfältige elektrometrische Messungen, bezüglich welcher wir auf die Originalabhandlung (Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. LXXXII, 1880) verweisen müssen, die Potentialniveaucurven der offenen und geschlossenen Elemente von Smee und Daniell und Grove ausgemittelt, aus denen hervorgeht, dass zwischen der sogenannten positiven Polplatte

Fig. 385.

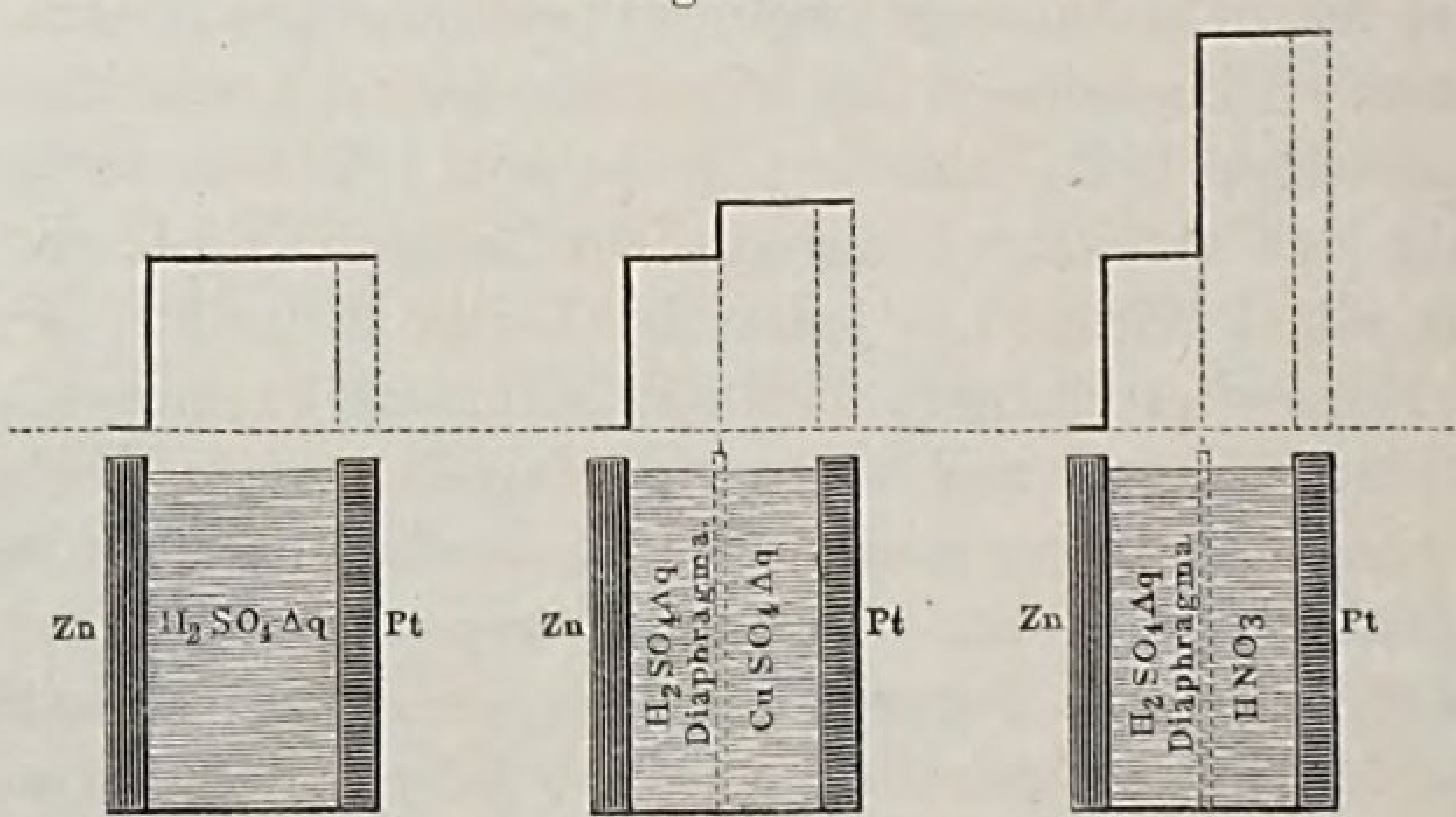
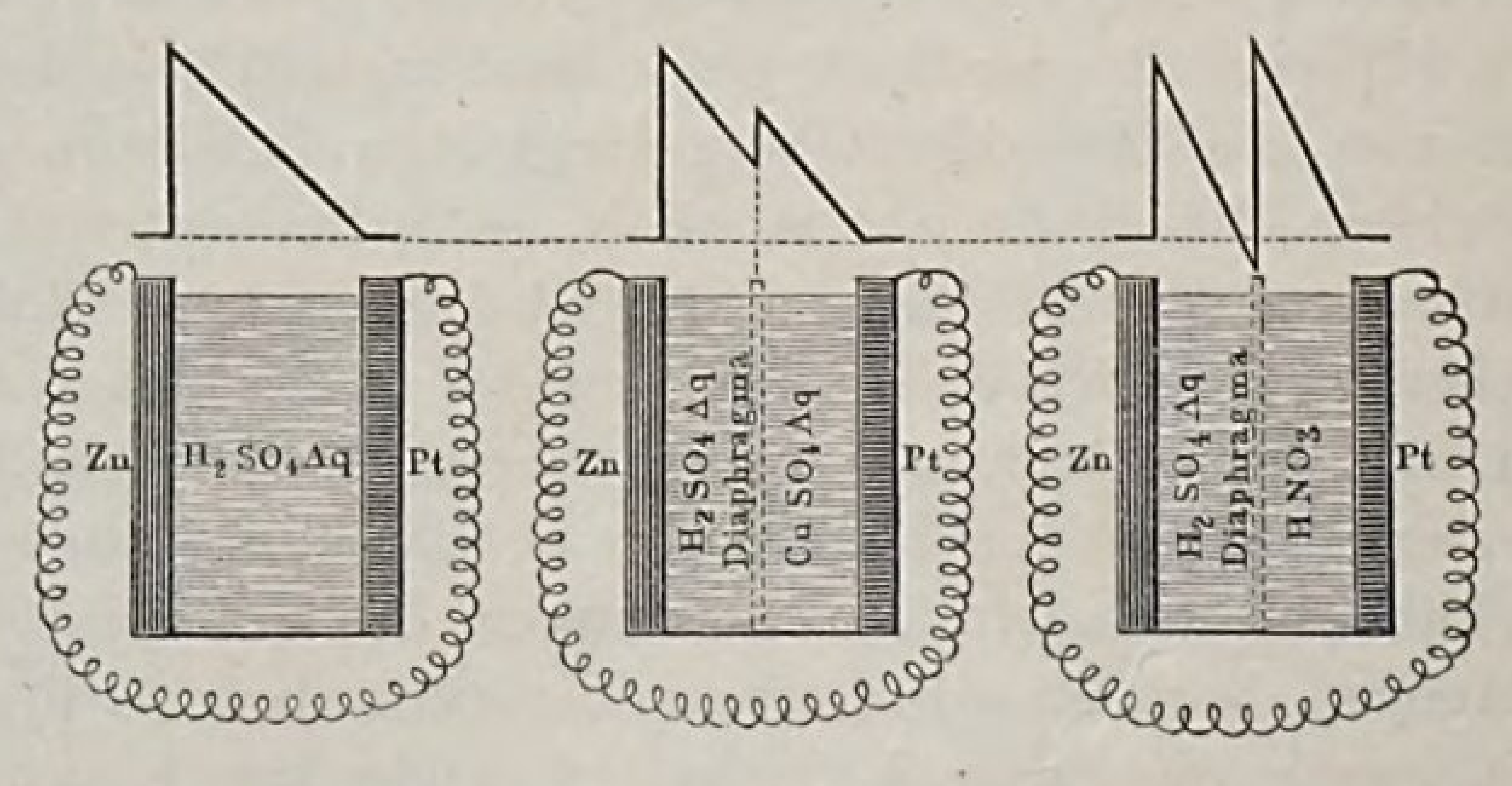


Fig. 386.



und der Flüssigkeit keine elektromotorische Kraft auftritt, es sei denn, dass auch das Metall dieser Platte eine chemische Veränderung erleidet.

Ein momentaner Anstieg der Potentialcurve oder wie man sagt, ein Sprung der Potentialfunction ist im geschlossenen oder offenen Elemente stets nur an jenen Stellen, wo eine chemische Reaction stattfindet; also beim Smee'schen Elemente nur zwischen Zink und Flüssigkeit, beim Daniell'schen und Grove'schen (oder Bunsen'schen) ausserdem noch an der Trennungsfläche der beiden Flüssigkeiten.

Fig. 385 zeigt die Potentialdiagramme der drei offenen Ketten, deren Zinkpol wir uns abgeleitet, also auf das Potentialniveau Null gebracht denken. Die Ordinaten sind im wahren relativen Grössenverhältniss gezeichnet. Fig. 386 zeigt die Potentialdiagramme der drei geschlossenen Ketten unter der Annahme, dass die Widerstände der metallischen Leiter gegenüber jenen der Flüssigkeiten verschwindend klein, und dass die Widerstände der Flüssigkeitsschichten unter sich gleich gross seien. Die Potentialdiagramme in der Originalabhandlung von F. Exner sind unter theilweise abweichenden Voraussetzungen gezeichnet. Wollte man den Widerstand der Metalle und des Schliessungskreises nicht verschwindend klein annehmen, so müsste die Zeichnung ähnlich wie in Fig. 311, S. 332 ausgeführt werden, jedoch mit dem Unterschiede, dass, wie schon in der dortigen Anmerkung gesagt ist, gemäss den neuen Untersuchungen Exner's die Potentialdifferenz an der Berührungsfläche zwischen dem negativen Metalle und der Flüssigkeit zu entfallen hätte.

Chemische Theorie des Volta'schen Fundamentalversuches. 137 Die im vorigen Paragraphen vorgetragene Theorie der Volta'schen Kette führt uns nun auch zur Theorie des Volta'schen Fundamentalversuches. Wir haben zwar, so weit es das Qualitative dieses Versuches betrifft, das Wesentliche der Exner'schen Theorie schon im §. 86 und zwar auf Seite 257 mitgetheilt. Allein gerade die quantitativen Beziehungen zwischen den beim Fundamentalversuche auftretenden Potentialdifferenzen resp. elektromotorischen Kräften und den Verbrennungswärmen der Metalle sind als eine besondere Stütze der Exner'schen Theorie von grossem Interesse.

Denken wir uns ein blankes Stück Zink in Luft oder Sauerstoff getaucht. Der chemische Process der Oxydation geht vor sich und diesem entspricht eine Elektricitätsentwickelung, indem positive Elektricität auf das Oxyd, negative auf das Zink übergeht.

Bis hierher ist der Vorgang ganz analog demjenigen beim Eintauchen von Zink in eine Säure. Wäre es nun wie im letzteren Falle so auch bei der Oxydation im Sauerstoff möglich, die entstandenen entgegengesetzten Elektricitäten fortwährend abfliessen zu lassen, so würde dadurch ein Strom entstehen, dessen Stromstärke proportional wäre der Menge des oxydirten Zinks wie in jedem andern Element, wo Zink oxydirt wird. Die elektromotorische Kraft dieser Combination würde sich also, wie bei jeder andern, berechnen lassen aus dem Wärme-

effect der auf 1 Aequivalent bezogenen chemischen Reaction, sie würde sich also beispielsweise zu jener des Smee'schen Elementes verhalten, wie die Oxydationswärme des Zinks zur Lösungswärme des Zinks in verdünnter Schwefelsäure.

Allein diese Abführung beider Elektricitäten ist diesmal nicht möglich, denn das gebildete Zinkoxyd ist ein Isolator und behält die positive Elektricität zurück. Es könnte also nur die negative Elektricität dem leitenden Zink entlang strömen, was eine nur halb so grosse Stromstärke liefern würde, entsprechend einer nur halb so grossen elektromotorischen Kraft.

Bei einer Volta'schen Kette aus Metall und Flüssigkeit, deren elektromotorische Kraft $2\,E$ ist, steigt nach Ableitung des Metalls zur Erde das Potential der Flüssigkeit auf $+\ 2\,E$ und diese Grösse $2\,E$ ist proportional dem Wärmewerthe der auf 1 Aequivalent bezogenen chemischen Reaction zwischen Metall und Flüssigkeit.

Leiten wir dagegen das Zink ab, welches in Sauerstoff oxydirt wurde, so kommt dessen Potential wohl auf 0, aber die Oxydschichte behält das Potential e, wenn diesmal $2\,e$ die elektromotorische Kraft ist, die der Verbrennungswärme eines Aequivalents Zink entspricht.

Benutzt man nun die mit dieser Oxydschicht versehene Zinkplatte als Condensatorplatte und nähert ihr in isolirtem Zustande eine isolirte Platinplatte, so wird im Platin negative Elektricität gebunden, positive frei; im Zink wird ein gleicher Betrag der früher von der positiven Oxydschicht gebundenen negativen Elektricität frei. Verbindet man nun beide Metallplatten leitend, so gleichen sich die freien positiven und negativen Elektricitätsmengen aus und nach dem Abheben bleibt in den Platten eine Potentialdifferenz $= e$ zurück.

Hieraus folgt also der wichtige Satz:

Die bei der Berührung eines oxydirbaren Metalls mit einem nicht oxydabeln Metalle erzeugte Potentialdifferenz verhält sich zu der Potentialdifferenz eines Volta'schen Elementes, wie die halbe Verbrennungswärme eines Aequivalents des oxydirbaren Metalls zu dem ganzen Wärmewerthe der äquivalenten chemischen Reaction des Volta'schen Elementes. Setzt man also die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes $= 1$ und bezeichnet den Wärmeeffect im Daniell'schen Elemente beim Verbrauch eines Aequivalentes Zink mit Q, die Verbrennungswärme eines Metalls mit w, die elektromotorische Kraft einer Combination aus diesem Metalle mit Platin mit e, so gilt die Proportion

$$e : 1 = \frac{w}{2} : Q,$$

woraus folgt:

$$e = \frac{w}{2\,Q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Es ist nun leicht einzusehen, wie sich dieser Sachverhalt modificirt, wenn statt des Platins ein anderes oxydirbares Metall, z. B. Kupfer, ge-

nommen wird. Auch dieses Metall wird durch die Oxydation negativ, sein Oxyd positiv elektrisch, es entsteht ebenfalls eine Potentialdifferenz, welche wir mit e' bezeichnen wollen, und wenn w' die Verbrennungswärme eines Aequivalentes dieses Metalles ist, so gilt ebenfalls

$$e' = \frac{w'}{2\,Q}.$$

Da nun bei der Berührung der beiden oxydabeln Metalle die elektromotorischen Kräfte e und e' einander entgegen wirken, so ist die elektromotorische Kraft der Combination E (Daniell = 1) gegeben durch

$$E = e - e' = \frac{w - w'}{2\,Q} \quad \ldots\ldots\ 2)$$

Die elektromotorischen Kräfte verschiedener Metallcombinationen in Luft verhalten sich also zu jenen der Hydroketten, wie die halben Differenzen der Verbrennungswärmen der Metalle zu den äquivalenten Wärmeeffecten der chemischen Vorgänge in den Hydroketten.

Um die Richtigkeit dieses Satzes nachzuweisen, führen wir aus Fr. Exner's Versuchen (Ueber die Ursache der Elektricitätserregung beim Contact heterogener Metalle. Wien. Akadem. Ber., Bd. LXXX) im Auszuge nachfolgende Werthe auf:

Metallcombination	Elektromotorische Kraft (Daniell = 1)	
	am Elektrometer beobachtet	aus den Verbrennungswärmen berechnet
In Luft:		
Zink mit Platin (13 Versuche) . . .	0·881	0·879
Kupfer mit Platin (7 Versuche) . .	0·367	0·383
Eisen mit Platin (8 Versuche) . . .	0·704	0·701
Silber mit Platin (1 Versuch) . . .	0·083	0·062
Silber in Luft mit Silber in Chlorgas (3 Versuche) . .	0·542	0·543

Die ersten vier Combinationen brauchen keine weitere Erklärung; man sieht, wie gut die berechneten Werthe mit den beobachteten übereinstimmen, dagegen müssen wir die zuletzt aufgeführte Combination näher besprechen. Wenn die vorgelegte Theorie richtig ist, so muss sich dieselbe auch für den Fall bewähren, dass die Verbindung des

Metalls mit Sauerstoff durch eine Reaction eines anderen Gases, z. B. Chlorgas, ersetzt wird. Exner stellte den Versuch in folgender Weise an. Er verschloss einen Glascylinder einerseits durch eine glatte Silberplatte, andererseits durch einen Stöpsel, durch dessen Bohrungen mittelst Glasröhren trockenes Chlorgas zu- und abgeführt werden konnte. Die Aussenseite der Silberplatte erhielt einen isolirenden Ueberzug von Paraffin, auf welchen dann eine zweite blanke Silberplatte gesetzt wurde, so dass ein Condensator gebildet wurde. Die Innenseite der ersten Silberplatte war durch einen Platindraht nach aussen leitend verbunden. So lange nun beide Silberplatten mit Luft in Berührung blieben, nahm der Condensator keinerlei Ladung an, wenn man die Platten in leitende Verbindung setzte und dann die obere Platte isolirt abhob. Sobald man jedoch zur unteren Silberplatte Chlorgas strömen liess, welches sich mit der Silberoberfläche unter Schwärzung derselben verband, trat sofort eine constante Ladung auf, welche aber — und dies ist von entscheidender Wichtigkeit — nur so lange anhielt, als noch Chlorgas auf das Silber wirkte. Verdrängte man das Chlorgas aus dem Glascylinder durch Luft, so verschwand die Potentialdifferenz, sobald die letzten Spuren adhärirenden Chlors vom Silber aufgezehrt waren. Damit ist also bewiesen, dass nicht etwa der Contact mit dem entstandenen Chlorsilber, sondern nur der Verbindungsvorgang die Elektricitätsquelle ist. Die elektromotorische Kraft der Combination ist aus der halben Differenz der Verbindungswärme des Silbers in Chlor und seiner Verbrennungswärme in Sauerstoff zu berechnen, das Resultat dieser Berechnung stimmt, wie die Tabelle zeigt, genau mit dem beobachteten Werthe überein.

Unabhängig von F. Exner hatte etwas früher schon Brown (Phil. Mag. 1878, II, 142; 1879, I, 411) an einem Thomson'schen Halbringelektrometer aus zwei Metallen qualitativ nachgewiesen, dass Eisen negativ elektrisch wird gegen Kupfer in einer Umgebung von Schwefelwasserstoff, während in Luft das Umgekehrte der Fall ist. Ebenso zeigt die Combination Kupfer — Nickel in Salzsäuregas eine Umkehrung des Zeichens der Elektrisirung. Aus diesen Versuchen schloss schon Brown die Abhängigkeit des Fundamentalversuches von den umgebenden Gasen.

Nach Exner hat noch Edelmann mittelst des von ihm erfundenen Plattenelektrometers (Carl's Repert. XVI, 1880) genaue quantitative Messungen über dieses Thema angestellt, deren Resultate wir hier mittheilen wollen, da sie mit Combinationen zweier oxydabler Metalle angestellt wurden und deshalb die Exner'schen Versuche vortheilhaft ergänzen.

Edelmann fand die elektromotorische Kraft von Zink und Kupfer in Luft, welche schematisch mit O | Zn | Cu | O bezeichnet wird, im Mittel aus 12 Versuchen gleich 0·498 Daniell.

Nach Thomsen's Messungen ist:

die Verbindungswärme per Aequivalent (32·5 g Zink)
Zink mit Sauerstoff = 42 700 Cal. = w
Kupfer mit „ 18 600 „ = w'

Der Wärmewerth der Reaction im Daniell'schen Elemente ist = 24 300 Cal. = Q (die im §. 133 mitgetheilte Zahl bezieht sich auf die doppelte Menge und ist einer späteren Mittheilung Thomsen's entnommen). Mithin berechnet sich die elektromotorische Kraft

O | Zn | Cu | O nach 2)

$$\frac{w' - w}{2\,Q} = \frac{42\,700 - 18\,600}{2 \times 24\,300} = 0{\cdot}496 \text{ Daniell},$$

was mit der gefundenen Zahl 0·498 fast genau übereinstimmt.

In ähnlicher Weise erhielt Edelmann für die Combination

O | Cu | Fe | O durch den Versuch 0·333 D, durch Rechnung 0·318 D
O | Fe | Zn | O „ „ „ 0·175 D, „ „ 0·178 D

Der Rechnung sind auch hier die Thomsen'schen Zahlen zu Grunde gelegt.

Es ist also nunmehr durch genaue quantitative Versuche verschiedener Physiker nachgewiesen, dass die bei der Berührung von Metallen auftretende Elektricität von der chemischen Einwirkung der umgebenden Gase auf die Metalle herrührt. Die Contacttheorie verliert dadurch jede Wahrscheinlichkeit und kann als abgethan betrachtet werden. Es braucht wohl nicht erst hervorgehoben zu werden, dass damit die früher richtig beobachteten Thatsachen nur eine andere Deutung erhalten, ohne dabei an Werth zu verlieren. So z. B. geht das Volta'sche Gesetz der Spannungsreihe aus der neuen Theorie als nothwendige Consequenz hervor. Die Differenz der Verbrennungswärme von Zink und Kupfer muss ja gleich sein der Differenz der Verbrennungswärme von Zink und Eisen, mehr der Differenz der Verbrennungswärme von Eisen und Kupfer, folglich muss auch die elektromotorische Kraft O | Zn | Cu | O gleich sein der Summe der elektromotorischen Kräfte:

O | Zn | Fe | O + O | Fe | Cu | O.

Es ist zu erwarten, dass die Lehre vom Galvanismus, wenn einmal die chemische Theorie consequent durchgeführt sein wird, sich viel einfacher und übersichtlicher wird gestalten lassen, als es in diesem Buche möglich war, wo die alten und neuen Ansichten noch beide nebeneinander berücksichtigt werden mussten.

Viertes Capitel.

Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

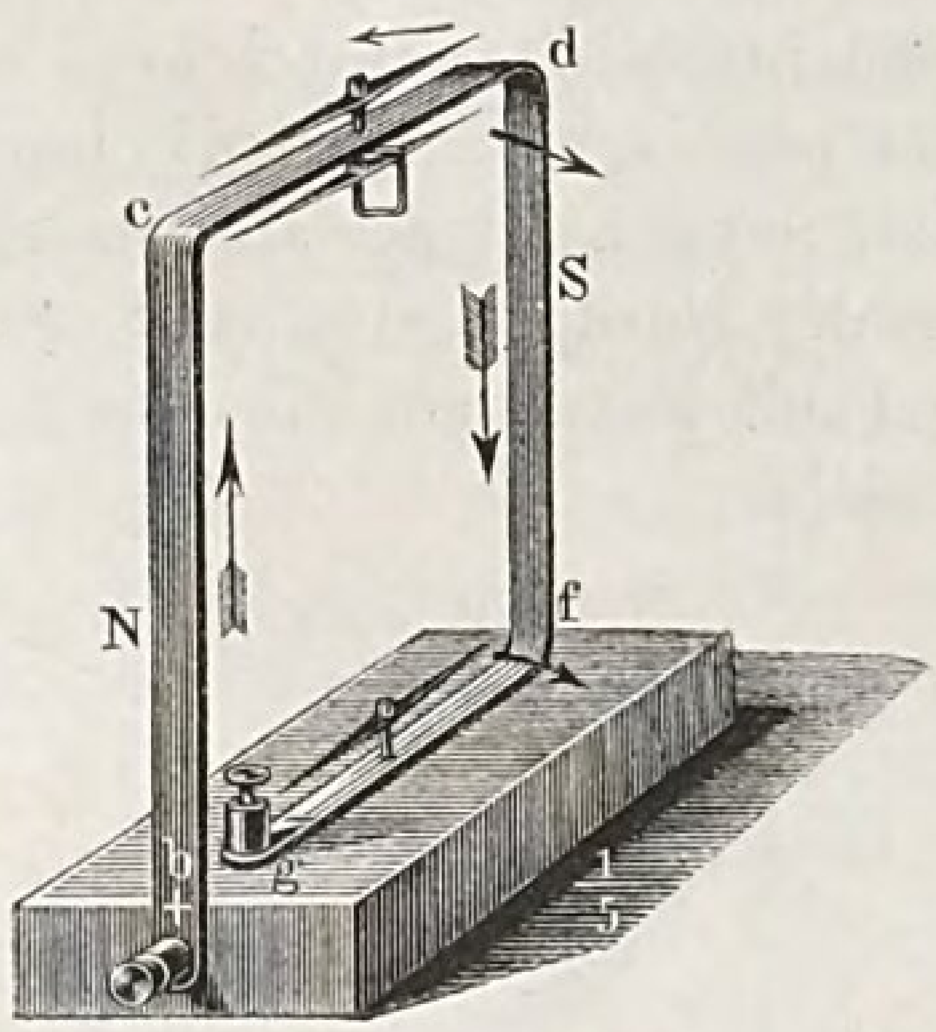
138 **Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom.** Schon lange hatte man die Vermuthung gehegt, dass zwischen Magnetismus und Elektricität eine innige Beziehung stattfinden müsse. Diese Vermuthung wurde durch die Erfahrung unterstützt, dass der magnetische Zustand der Compassnadeln durch Blitzschläge, welche sie getroffen hatten, alterirt worden war. Man versuchte ähnliche Einwirkungen durch den Entladungsschlag von Leydener Flaschen zu erhalten, alle diese Versuche führten aber nicht zu regelmässigen Resultaten. Man begnügte sich mit der Annahme, dass der elektrische Entladungsschlag in ähnlicher Weise auf die Magnetnadel wirke wie der Schlag eines Hammers.

Erst im Jahre 1820 machte Oersted, Professor in Kopenhagen, die wichtige Entdeckung, dass der galvanische Strom eine richtende Kraft auf die Magnetnadel ausübe, eine Entdeckung, durch welche ein neues Feld der Elektricitätslehre eröffnet wurde. (*Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticum*; übersetzt in Gilbert's Annalen Bd. 66, S. 295.)

Den Oersted'schen Fundamentalversuch über die Einwirkung eines galvanischen Stromes auf die Nadel kann man auf folgende Weise anstellen: ein Streifen Kupferblech wird so gebogen, dass er ein Quadrat bildet, dessen Seiten etwa 20 bis 25 cm lang sein können; an den beiden Enden derselben, bei b und g, Fig. 387, sind die Schraubklemmen aufgesetzt, in welche die Zuleitungsdrähte für den Strom eingeschraubt werden können. In der Mitte auf dem horizontalen Stücke cd und auf fg ist eine Stahlspitze befestigt, auf welche eine Magnetnadel aufgesetzt werden kann. Ebenso befindet sich eine Stahlspitze, von einem gebogenen Kupferdrahte getragen, unter der Mitte von cd, auf welche ebenfalls eine Magnetnadel aufgesetzt werden kann.

Diese Vorrichtung wird nun so aufgestellt, dass die Ebene des Quadrates in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, dass sich also die Magnetnadeln mit *cd* und *fg* parallel stellen. Sobald nun aber ein Strom durch den Apparat hindurch geht, werden die Magnetnadeln abgelenkt und zwar in der durch die ungefiederten Pfeile bezeichneten Richtung, wenn der positive Strom bei *b* ein- und bei *g* austritt und wenn *N* die Nordseite, *S* die Südseite des Apparates bildet.

Fig. 387.



Ampère hat folgende Regel gegeben, um jederzeit die Richtung der Ablenkung zu bestimmen: Man denke sich in den Strom eine kleine menschliche Figur so eingeschaltet, dass der Strom bei den Füssen ein- und am Kopfe austritt; wenn nun diese Figur ihr Gesicht der Nadel zukehrt, so wird der Südpol der Nadel (das Südende) immer nach der rechten Seite dieser Figur hin abgelenkt (der Nordpol also nach der linken Seite).

In dem Stromstück *cd* liegt die Figur wagerecht, den Kopf nach Süden, die Füsse nach Norden gekehrt. Wird die Nadel über den Strom gehalten, so muss die Figur auf dem Rücken liegen, wenn ihr Gesicht der Nadel zugekehrt sein soll; bei dieser Lage der Figur ist ihre rechte Seite die östliche. Wird die Nadel unter *cd* gehalten, so muss die Figur das Gesicht nach unten kehren, und nun wird ihre rechte Seite die westliche.

Für das Stromstück *gf* sind die Füsse der Figur nach Süden, der Kopf nach Norden gekehrt; wenn die Figur auf dem Rücken liegt, ist also die rechte Seite die westliche.

Wenn ein in der Richtung des magnetischen Meridians sich bewegender horizontaler Strom allein auf die Nadel wirkte, so würde sie sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellen; ausser dem Strome wirkt aber auch noch der Erdmagnetismus, der die Nadel in den Meridian zurückzudrehen strebt. Unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, sie wird mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel machen, der um so grösser wird, sich also einem rechten um so mehr nähert, je grösser die Stromkraft im Vergleiche zur magnetischen Erdkraft ist.

Auch der vertical gerichtete Strom in *bc* und *df* wirkt ablenkend auf die Nadel und zwar findet man die Richtung der Ablenkung ebenfalls nach der Ampère'schen Regel. Man denke sich nur die vertical stehende Figur dem Nordende zugewendet, so muss sich dieses Nordende nach der Linken drehen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, dass für

einen aufsteigenden Strom die Figur auf den Füssen, für einen niedergehenden auf dem Kopfe steht.

Man kann der Ampère'schen Regel auch folgende Fassung geben, welche vielleicht bequemer im Gedächtniss zu behalten ist. Man halte die rechte Hand ausgestreckt parallel dem Stromleiter in solcher Lage, dass die Fingerspitzen in der Richtung des positiven Stromes, die innere Handfläche gegen den Magnet gerichtet ist, dann zeigt der abgestreckte Daumen die Richtung an, nach welcher der Nordpol abgelenkt wird. Fig. 388 zeigt die Anwendung dieser Regel mit Bezug auf die innerhalb des Drahtgestells aufgehängten Magnetnadeln.

Fig. 388.

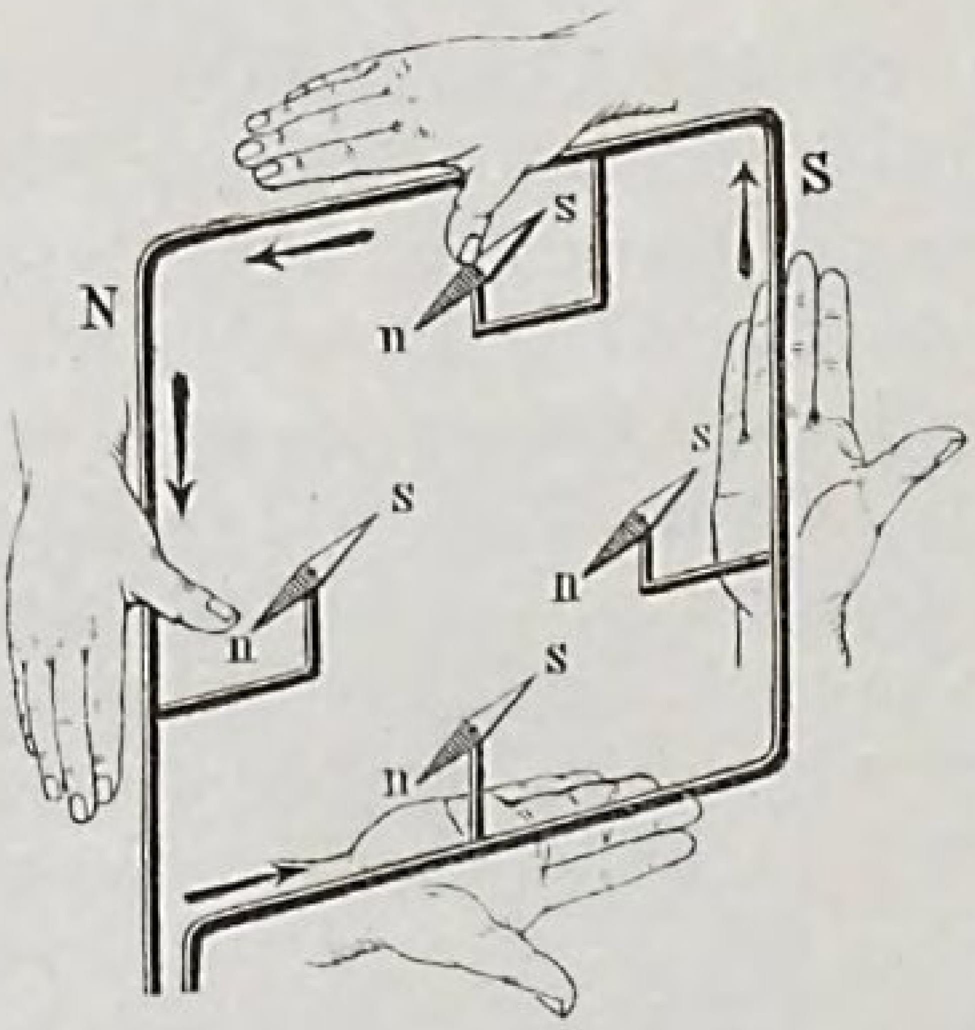
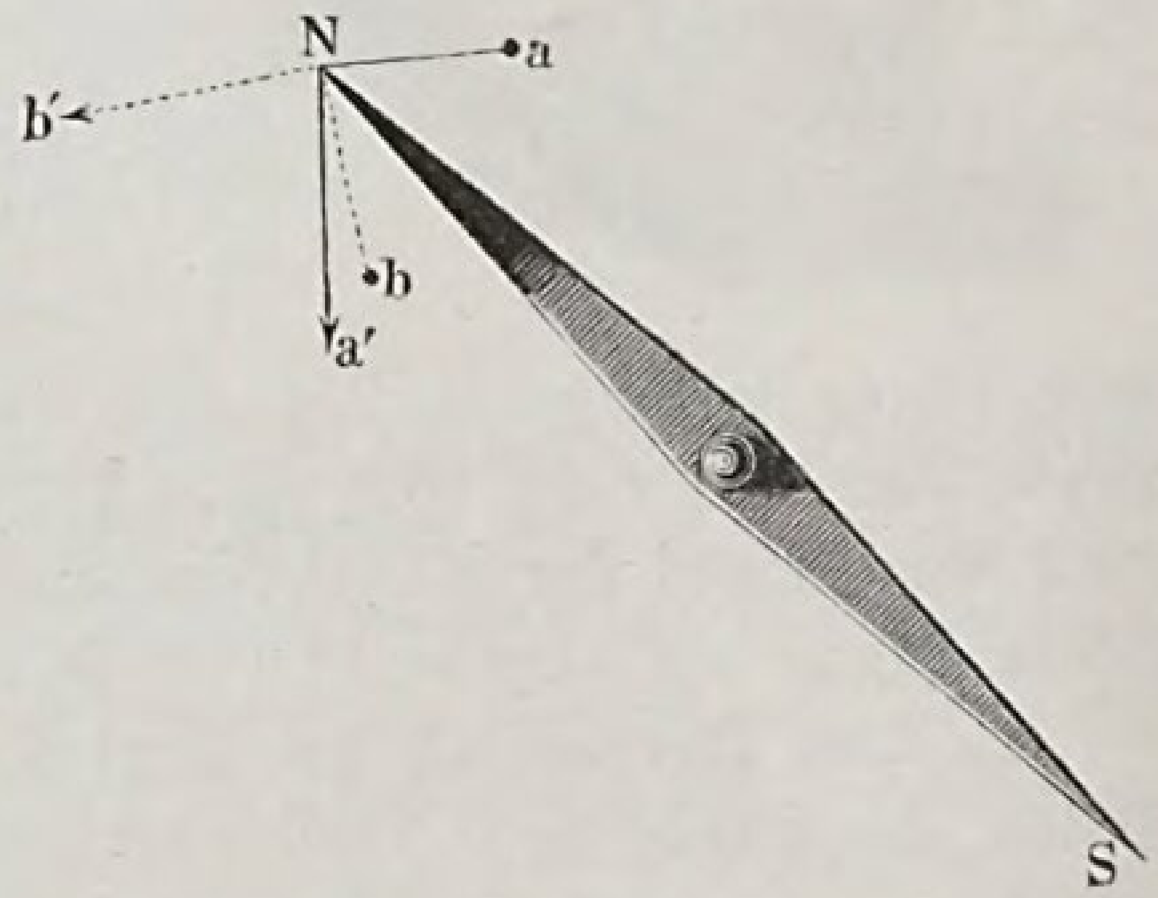


Fig. 389.



Aus dieser Ampère'schen Regel folgt, dass ein und derselbe verticale Strom das Nordende einer Nadel bald anzieht, bald abstösst, je nachdem dieser Pol sich auf der einen oder anderen Seite des Drahtes befindet. In Fig. 389 stelle NS eine horizontale Nadel, von oben gesehen, dar; N sei das Nordende der Nadel, a sei ein verticaler Draht, der natürlich, von oben gesehen, als Punkt verkürzt erscheint. Geht nun ein positiver Strom von unten nach oben durch den Draht, so wird die Nadel offenbar von dem Drahte gegen a' hin abgestossen. Befände sich aber der Draht in b, so würde bei aufsteigendem Strome die Nadel offenbar einen Impuls in der Richtung des Pfeiles b' erhalten, also dem Drahte genähert werden.

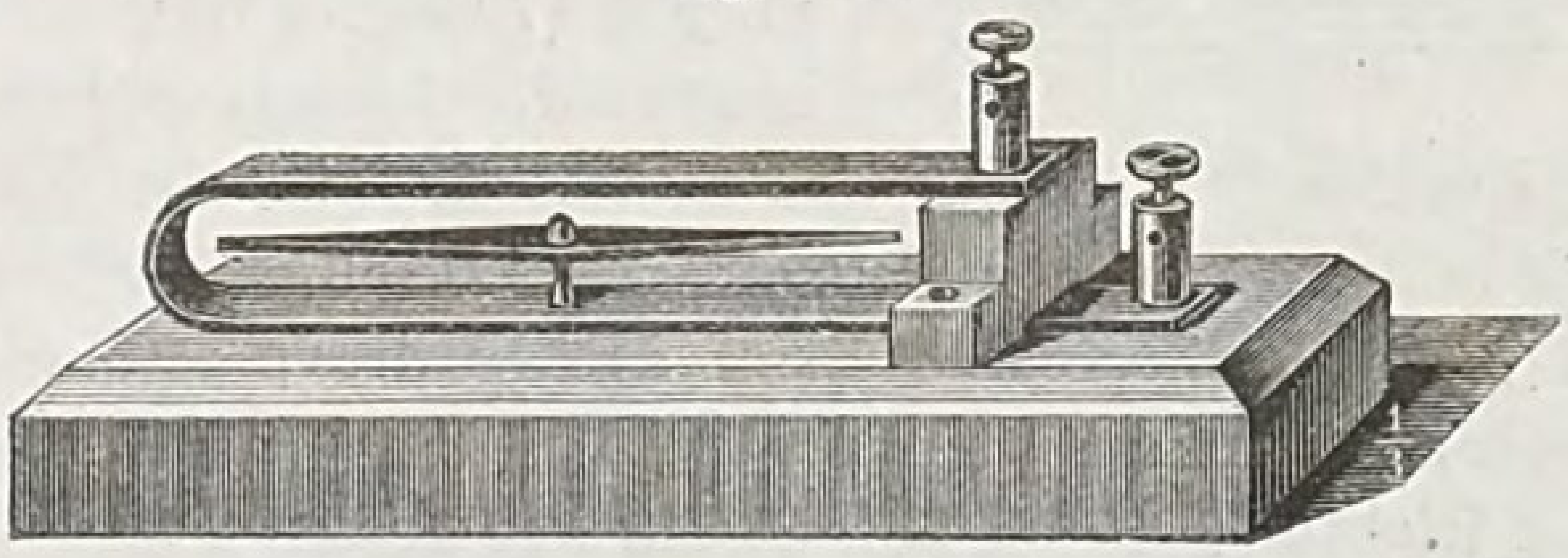
Aus Fig. 388 ersieht man sofort, dass ein und derselbe Strom die Nordpole aller Magnetnadeln, die sich innerhalb des Drahtrahmens befinden, nach derselben Seite aus der Ebene des Rahmens abzulenken strebt; denn der Daumen der Hand bleibt beim Herumgehen immer nach derselben Seite gerichtet. Für ausserhalb des Rahmens befindliche Nadeln erhalten sämmtliche Nordpole die entgegengesetzte Ablenkung. Für eine innerhalb eines Stromkreises befindliche Magnetnadel kann man daher die Ampère'sche Regel ganz einfach in der Weise ausdrücken, wie es bereits oben S. 291 geschehen ist, dass das Südende der

Nadel nach der Seite hin abgelenkt wird, von welcher aus betrachtet der positive Strom die Nadel in der Richtung umkreist, in welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.

Galvanoskope, Multiplicatoren. Die eben besprochene Wirkung eines Stromes auf eine Magnetnadel bietet das bequemste Mittel, das Vorhandensein und die Richtung eines Stromes nachzuweisen. Apparate, welche hierzu dienen, heissen Galvanoskope oder Rheoskope. Sind diese Apparate durch Vermehrung der Drahtwindungen zum Nachweise sehr schwacher Ströme eingerichtet, so heissen sie Multiplicatoren; sind sie ausserdem noch zur Messung der Stromstärke geeignet, so heissen sie Galvanometer oder Rheometer. 139

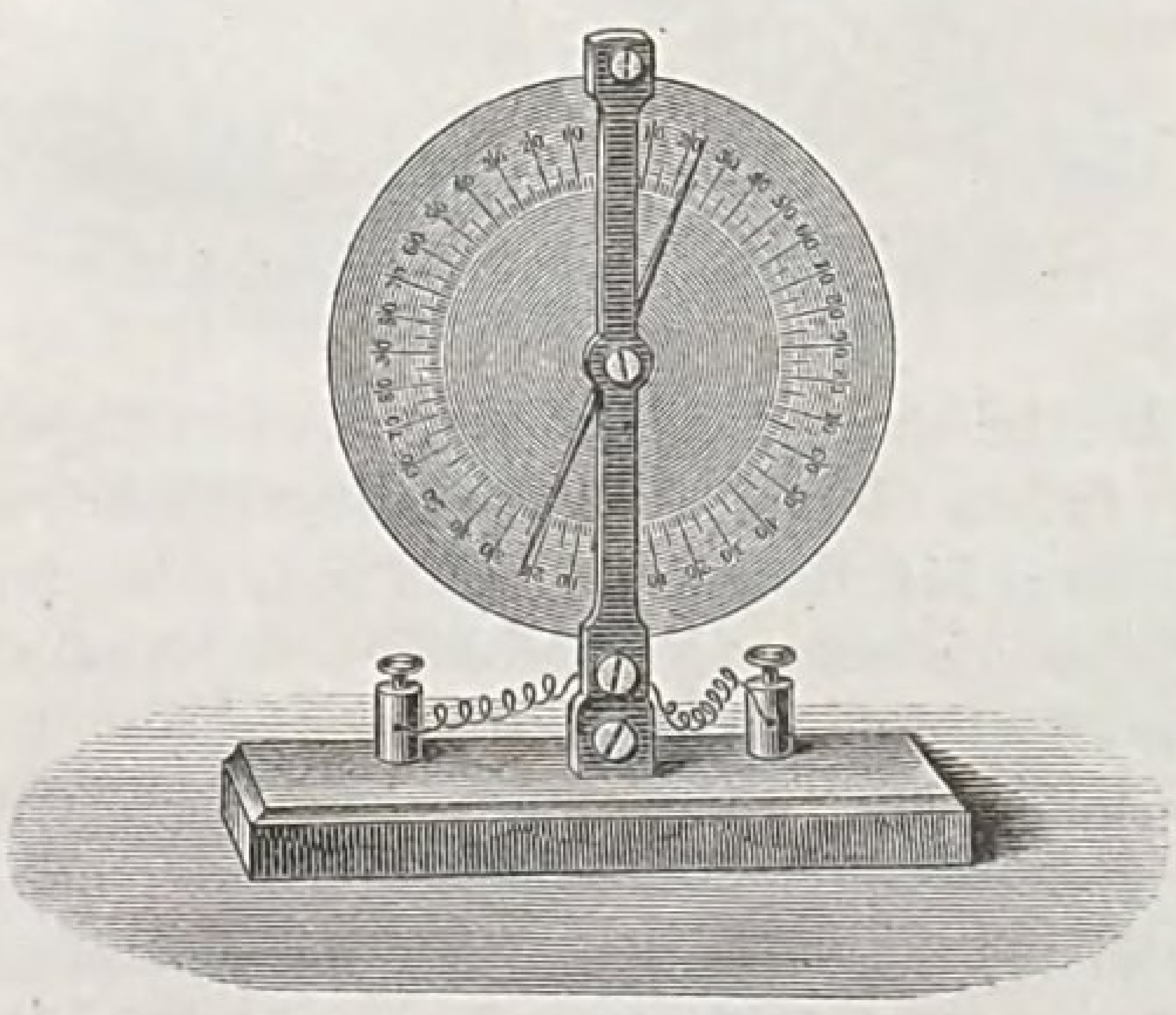
Fig. 390 zeigt ein Galvanoskop der einfachsten Art, dessen Anwendungsweise nach dem Vorausgegangenen wohl selbstverständlich ist.

Fig. 390.



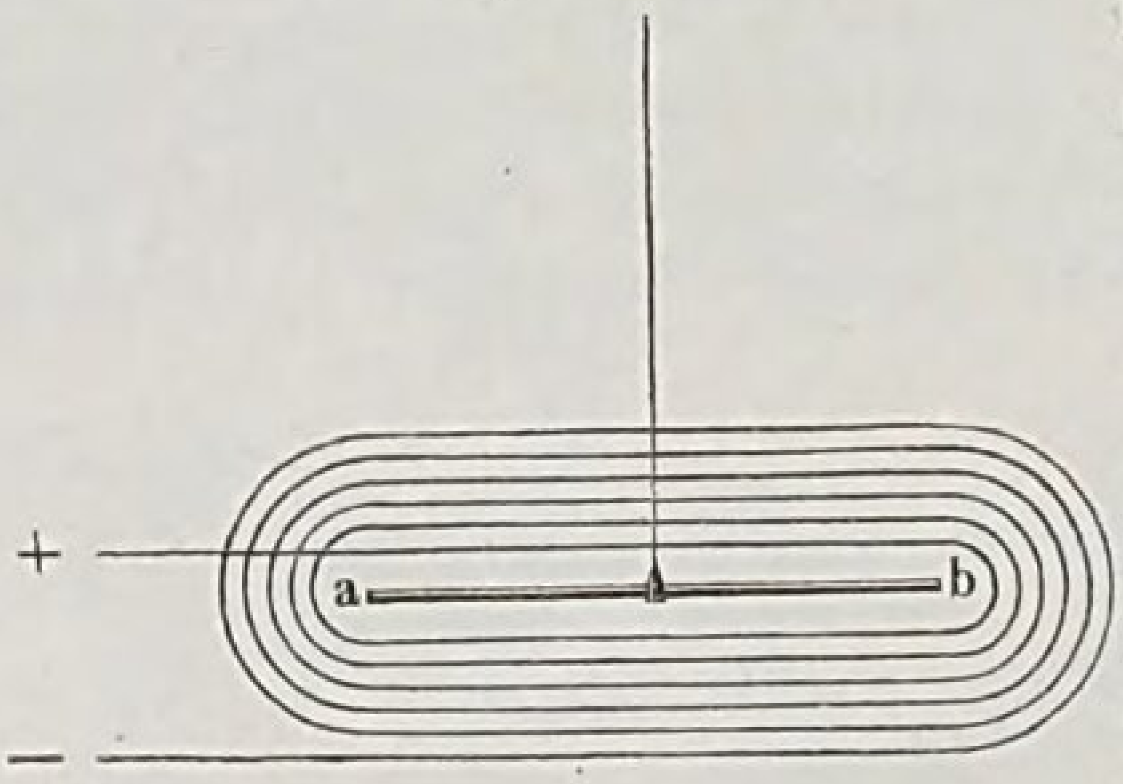
Wenn es sich darum handelt, einem grossen Auditorium die Ausschläge eines Galvanoskops zu demonstriren, so eignet sich hierzu recht gut das in Fig. 391 in halber Grösse abgebildete Verticalgalvanoskop von Stöhrer jun. Dasselbe ist dazu bestimmt, als Object vor die Projectionslaterne gestellt zu werden. Der verticale Theilkreis ist auf Glas photographirt. Der vertical stehende Rahmen, durch welchen der Strom um die Nadel kreist, kann mittelst Scharniers zur Seite geneigt werden, um sich der jeweiligen Nullstellung der Inclinationsnadel anzupassen. Man kann jedoch auch durch einen in die Nähe gestellten Magnetstab die Magnetnadel in verticale Lage bringen. Der Theilkreis kann zu einer beiläufigen Messung der relativen Stromstärke benutzt werden.

Fig. 391.



Der Multiplicator ist ein Galvanoskop mit zahlreichen Drahtwindungen, deren jede einzelne in gleicher Weise ablenkend auf den Magnet wirkt, so dass schon schwache Ströme eine merkbare Wirkung hervorbringen. Die Erfindung des Multiplicators geschah bald nach Oersted's Entdeckung gleichzeitig durch Schweigger und Poggendorff. Fig. 392 zeigt die schematische Anordnung der Drahtwindungen um die Magnetnadel. Damit letztere möglichst frei beweglich sei, ist sie nicht auf eine Spitze gesetzt, sondern an einem Coconfaden aufgehängt.

Fig. 392.



Nobili hat den Multiplicator dadurch bedeutend empfindlicher gemacht, dass er statt der einfachen Nadel ein astatisches Nadelpaar anwandte, dessen Einrichtung wir schon oben §. 17 kennen lernten. Fig. 393 erläutert die Anordnung des Nobili'schen Multiplicators. Während das Nadelpaar nur mit geringer Kraft durch den Erdmagnetismus gerichtet wird, summirt sich die Wirkung des Stromes auf beide Nadeln, denn indem die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere über denselben hängt, werden beide Nadeln nach gleicher Richtung durch den Strom abgelenkt.

Fig. 394 stellt die Einrichtung eines Holzrähmchens dar, welches zur Aufnahme der Drahtwindungen eines Nobili'schen Multiplicators

Fig. 393.

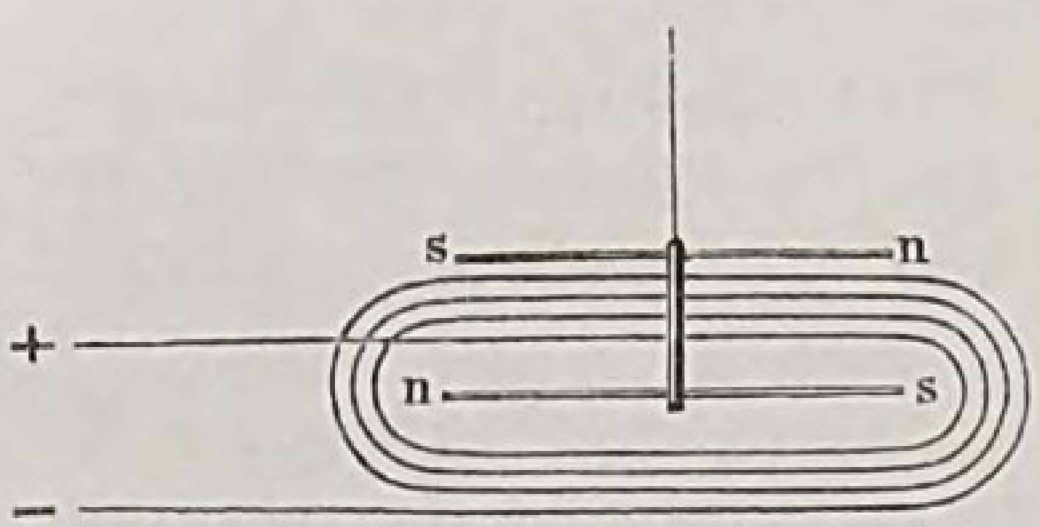
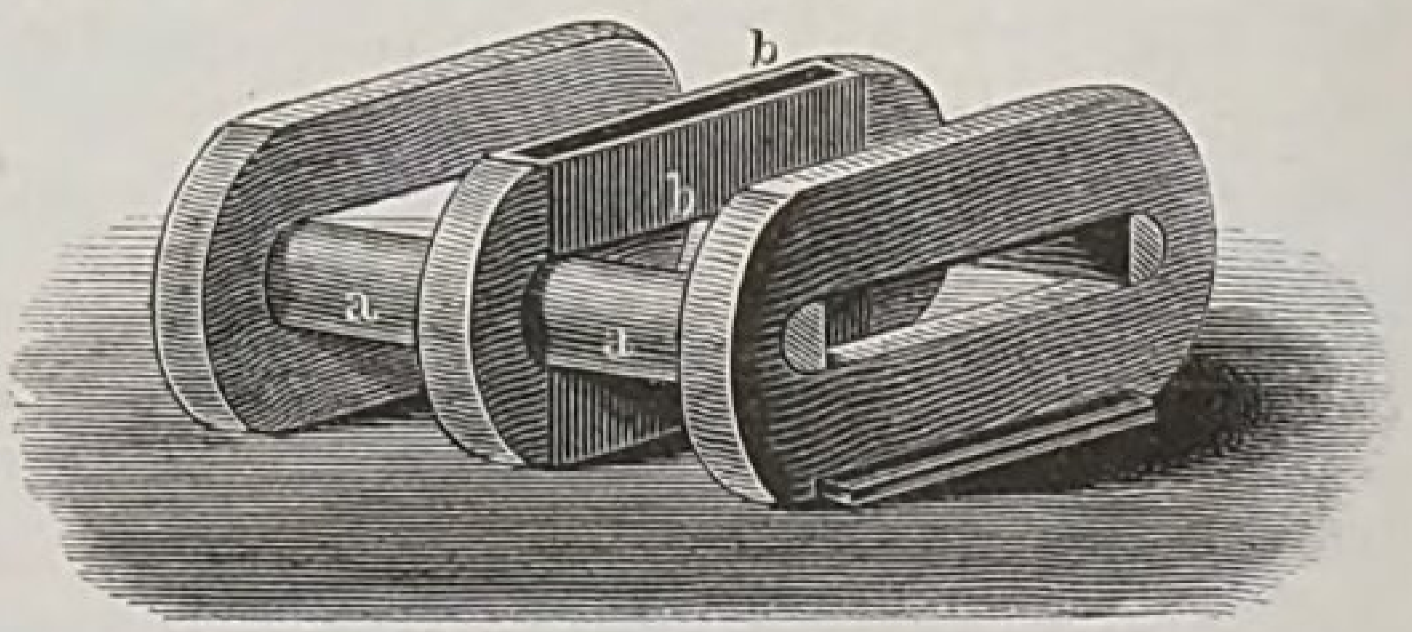


Fig. 394.



dient. Zwei vertical stehende Brettchen sind durch horizontal stehende Querstäbchen *a a* verbunden. Indem der Draht über diese Stäbchen gewickelt wird, bleibt der Spielraum für die untere Nadel frei. Um den Spalt frei zu halten, durch welchen die untere Nadel hinabgelassen wird, sind die dünnen Brettchen oder Messingblättchen *b b* angebracht.

Je nach dem Zwecke, zu welchem der Multiplicator gebraucht werden soll, hat er weniger, 50 bis 100 Windungen eines Drahtes von nahe 1 mm Durchmesser, oder sehr viele, 3000 bis 25000 Windungen eines möglichst dünnen Drahtes. Im ersteren Falle brauchen natürlich die Seitenwände des Rähmchens nur ganz niedrig zu sein, und man kann dagegen den Spielraum für die untere Nadel in verticaler Richtung etwas vergrössern. Gilt es aber, einen Multiplicator von vielen Windungen

zu construiren, so muss man die Wände des Rahmens hoch, und, um Raum zu ersparen, den Spielraum für die untere Nadel niedrig machen. In diesem Falle wird man wohlthun, den Spielraum für die untere Nadel von oben und unten und den verticalen Spalt von beiden Seiten mit ganz dünnen Brettchen oder noch besser mit Metallplatten zu bedecken, um das Eindringen der Drahtwindungen in diese Räume oder das Hineinragen von Seidenfasern zu verhindern. Bei Multiplicatoren von wenig Windungen ist diese Vorsichtsmaassregel unnöthig.

Bei Multiplicatoren von vielen Windungen muss natürlich die Entfernung der beiden Nadeln grösser sein, als bei solchen von wenig Windungen.

Die Gesammteinrichtung des Multiplicators ist aus Fig. 395 (a. f. S.) zu ersehen, welche ein derartiges Instrument von vielen Windungen darstellt. Das astatische Nadelpaar hängt an einem einfachen Seidenfaden, einem sogenannten Coconfaden. Um es nach Belieben heben oder senken zu können, dient eine Vorrichtung, welche in Fig. 396 (a. f. S.) in natürlicher Grösse dargestellt ist. Der Faden ist an einem Häkchen befestigt, welches das untere Ende eines vierseitigen Stäbchens bildet. Dieses Stäbchen passt in eine gleichfalls vierseitige Oeffnung des Messingsäulchens, welches in der Mitte des die ganze Vorrichtung tragenden Bügels sitzt; oben endet es mit einer Schraube, welche durch eine aussen kugelförmige Mutter hindurchgeht. Diese Kugel ist durch einen sie umfassenden Ring an ihrer Stelle festgehalten; wenn man sie also umdreht, so muss nothwendig die Schraubenspindel und mit ihr das vierseitige Stäbchen sammt dem Faden gehoben oder gesenkt werden, je nach der Richtung, nach welcher man dreht. — Zwischen der oberen Nadel und den Windungen befindet sich ein getheilter Kreis, auf welchem man die Ablenkungen ablesen kann. In der Richtung der Nulllinie, den Drahtwindungen parallel, ist aus dem Theilkreis ein Spalt ausgeschnitten, der sich gerade über der von den Drahtwindungen freigelassenen Spalte befindet.

Um zu verhindern, dass die Nadel durch zu starke Ströme ganz herumgeworfen werden kann, sind 90^0 rechts und links von der Nulllinie Stiftchen angebracht, gegen welche die Nadel anschlägt. Du Bois hat diese Stiftchen durch ganz dünne elastische Glimmerblättchen ersetzt.

Um den Luftzug abzuhalten, ist über das Ganze eine Glasglocke gestellt. Die Enden des Multiplicatordrahtes sind in zwei Klemmschrauben geführt, welche noch ausserhalb der Glasglocke stehen. In diesen Klemmschrauben werden die Drähte befestigt, welche den Strom zuführen, der den Multiplicatordraht durchlaufen soll.

Dies Alles befindet sich auf einem runden Brette, welches mittelst eines Zapfens, der in der Mitte einer zweiten Scheibe von noch grösserem Durchmesser steckt, um seine verticale Axe umgedreht werden kann, wodurch es möglich wird, das Ganze so zu drehen, dass die Ebene der Windungen der Gleichgewichtslage des Nadelpaares parallel wird, dass also die obere Nadel auf den Nullpunkt der Theilung zeigt.

Fig. 397 stellt einen andern, nach den Angaben von Du Bois construirten Multiplicator von 20 000 bis 30 000 Windungen dar, wie er zu

Fig. 395.

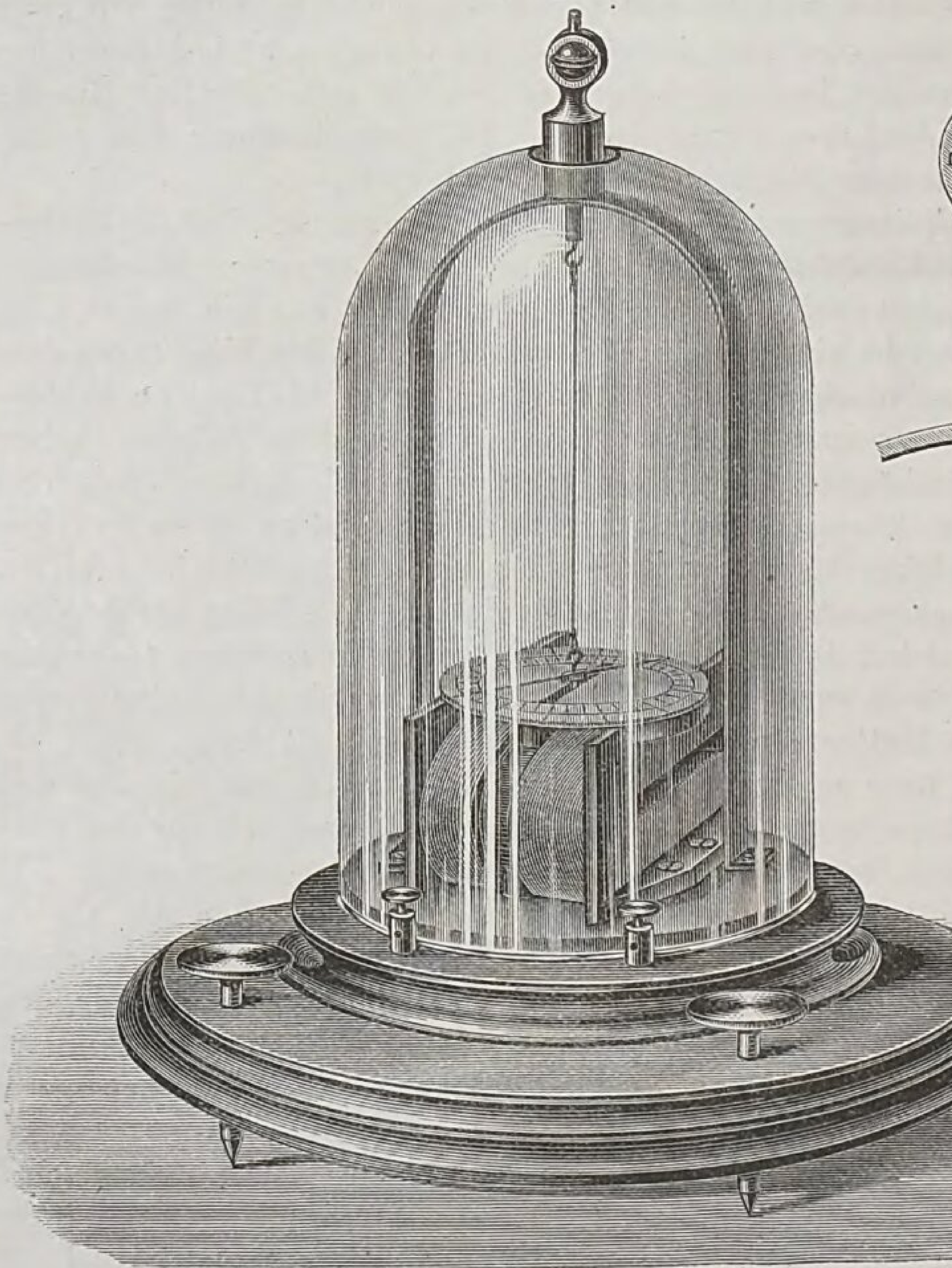
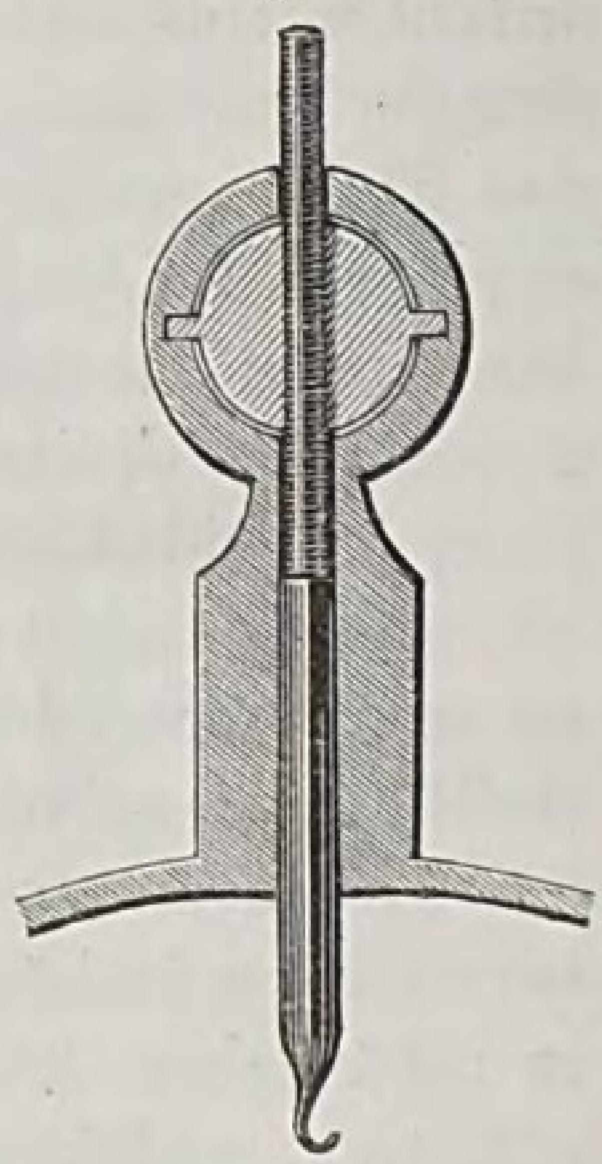


Fig. 396.



Versuchen über thierische Elektricität angewendet wird. Das Verbindungsstück der beiden Nadeln des astatischen Systems ist bei diesem Multiplicator aus Schildpatt oder Elfenbein verfertigt.

Als ein Verticalmultiplicator wäre der in Fig. 398 abgebildete von Stöhrer jun. construirte Apparat zu bezeichnen. Derselbe ist wie jener in Fig. 391 für die Projectionslampe bestimmt. Der Magnet hat die Form eines mit einer Schneide auf einer Pfanne schwingenden Wagebalkens. Der mit den Drahtwindungen überzogene Rahmen kann an der Tragsäule auf- und abgehoben und festgeklemmt werden. Die Zunge des Wagebalkens spielt als Zeiger auf der transportablen Scala.

In welchen Fällen Multiplicatoren mit vielen, in welchen Fällen

solche mit wenig Windungen anzuwenden sind, kann erst weiter unten erörtert werden.

Die Ablenkung der Nadeln aus ihrer Gleichgewichtslage wächst natürlich mit der Stromstärke, doch ist die Beziehung zwischen dem Ab-

Fig. 397.

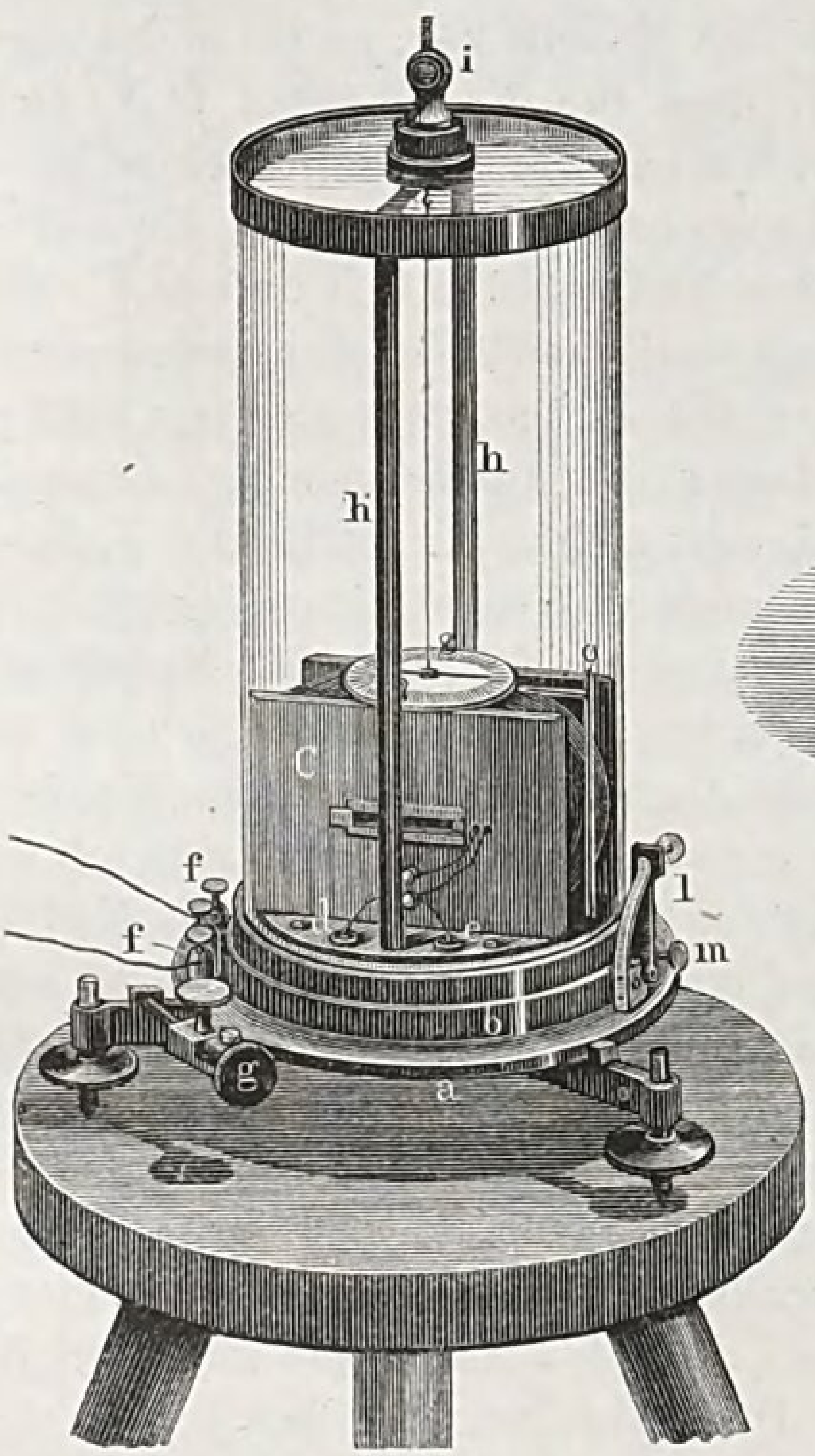
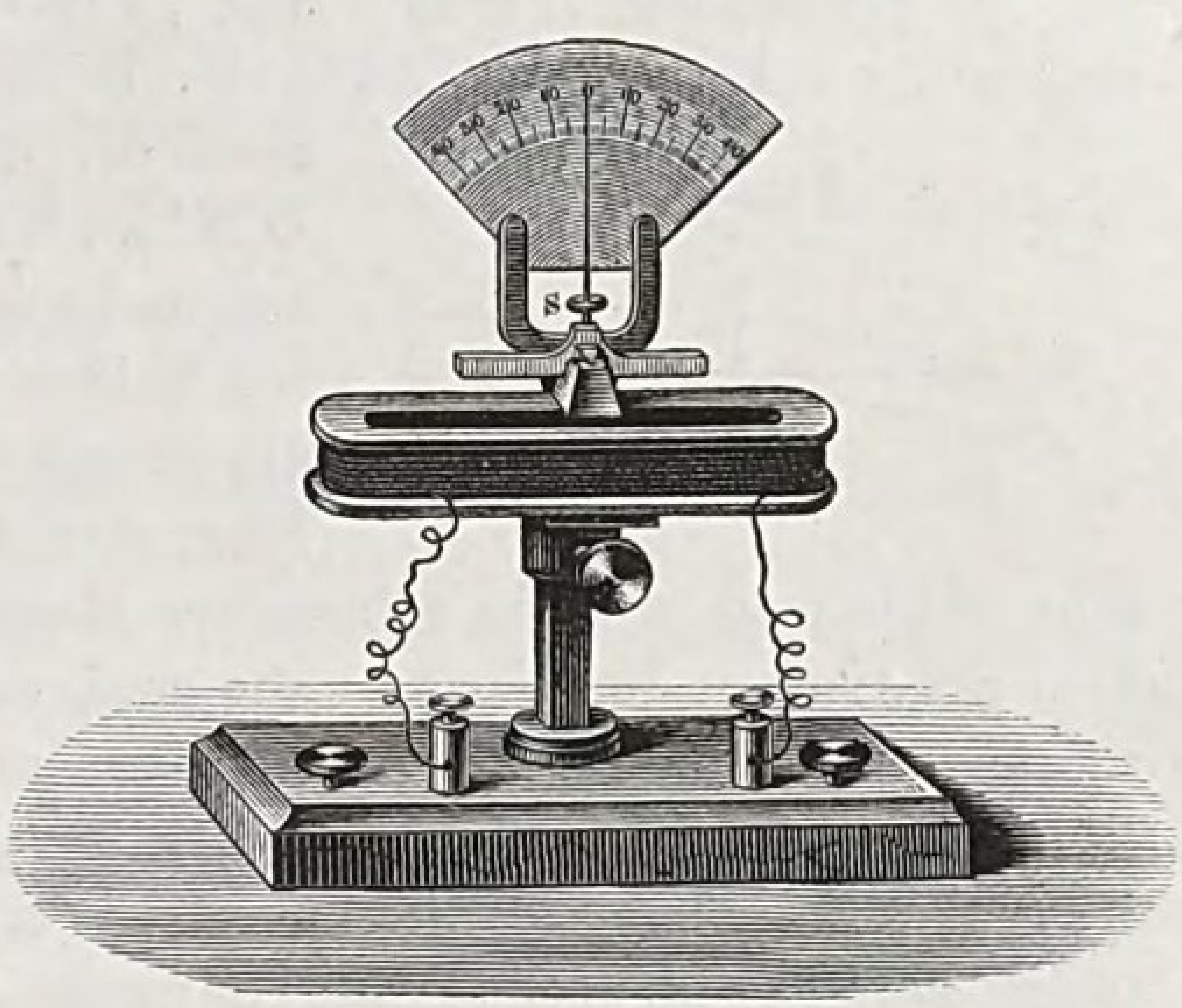


Fig. 398.



lenkungswinkel und der Stromstärke so complicirt, dass sie sich nicht allgemein aus theoretischen Betrachtungen, sondern nur für jedes specielle Instrument auf empirischem Wege ermitteln lässt. Im Allgemeinen aber wird der Multiplicator doch mehr als empfindliches Rheoskop und nur selten als Rheometer gebraucht.

Die Empfindlichkeit des Multiplicators wächst natürlich in dem Maasse, in welchem sich das Nadelpaar mehr und mehr der vollkommenen Astasie nähert. Die zunehmende Astasie hat nun aber einige Erscheinungen im Gefolge, ohne deren Kenntniss die Behandlung empfindlicher Multiplicatoren höchst schwierig wird. Wir wollen sie hier nur kurz anführen.

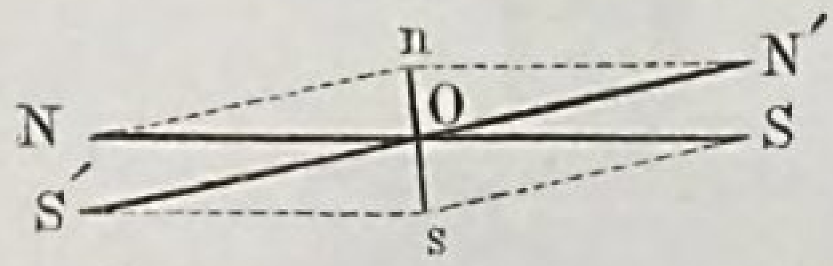
Zunächst sieht man, dass ein astatisches Nadelpaar sich nicht mehr in den magnetischen Meridian einstellt, sondern dass es bei wachsender Astasie einen immer grösseren Winkel mit demselben macht, um endlich nahezu rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian zu stehen.

Dieser Umstand beeinträchtigt die Brauchbarkeit des Instrumentes durchaus nicht, man hat nur den Apparat um seine verticale Axe so zu drehen, dass die obere Nadel auf dem Nullpunkt einsteht, dass also die Ebene der Windungen mit der Ebene der Nadeln parallel ist. Den Grund

dieser anfangs auffallenden Erscheinung hat schon Nobili richtig darin erkannt, dass die beiden Nadeln doch nie absolut genau in eine und dieselbe Verticalebene fallen oder, mit anderen Worten, dass die Horizontalprojectionen der beiden Nadeln immer einen, wenn auch sehr kleinen Winkel mit einander bilden.

Angenommen, NS und $N'S'$, Fig. 399, stellen die Horizontalprojectionen der magnetischen Axen der beiden Nadeln vor, so ist leicht einzusehen, dass die Nadelhälften ON und ON' zusammen wie die Hälfte eines kurzen und schwachen Magneten On, die anderen beiden Nadelhälften OS und OS' wie die südmagnetische Hälfte eines schwachen Magneten Os wirken, dass also das astatische Nadelpaar wie ein schwacher Magnet ns auftreten muss, der auf dem astatischen Nadelpaar nahe senkrecht steht; oder falls die Nadeln ungleich stark magnetisch sind, einen andern Winkel damit bildet.

Fig. 399.



Wenn die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus das Nadelpaar richtet, in Folge der vollkommenen Astasie sehr gering geworden ist, so fängt der unbedeutende fast unvermeidliche Eisengehalt des Kupferdrahtes, welcher zu den Windungen verwendet wurde, an, störend zu wirken, indem die Drahtmassen zu beiden Seiten des Spaltes das Nadelpaar nach beiden Seiten hinziehen und so ein stabiles Gleichgewicht auf der Nulllinie unmöglich machen. In einem solchen Falle ist es nicht möglich, die Nadel auf der Nulllinie zum Einstehen zu bringen, sie weicht stets nach der einen oder anderen Seite ab. — Hier ist es nun am zweckmässigsten, die Astasie des Nadelpaares gerade soweit zu beschränken oder, mit anderen Worten, die richtende Kraft der Erde durch andere Mittel noch so weit zu unterstützen, dass das Nadelpaar nur eben in der Nulllinie zurückgehalten wird. Du Bois hat dies bei seinem in Fig. 397 dargestellten Multiplicator auf folgende Weise erreicht. Dem Nullpunkte der Theilung gegenüber befindet sich ein verticales Messingstäbchen o mit einem gegen die Nadel gerichteten horizontalen Arm, an dessen Ende ein ungefähr 0,5 mm langes, gut gehärtetes und stark magnetisirtes Stahlspitzchen befestigt ist, dessen Zug gerade die Ablenkung des Nadelpaares durch den Magnetismus der Windungen aufhebt. Das Stäbchen o kann durch die ausserhalb der Glocke angebrachten Schrauben l und m sowohl etwas nach rechts oder links, als auch nach vorn oder zurück bewegt werden.

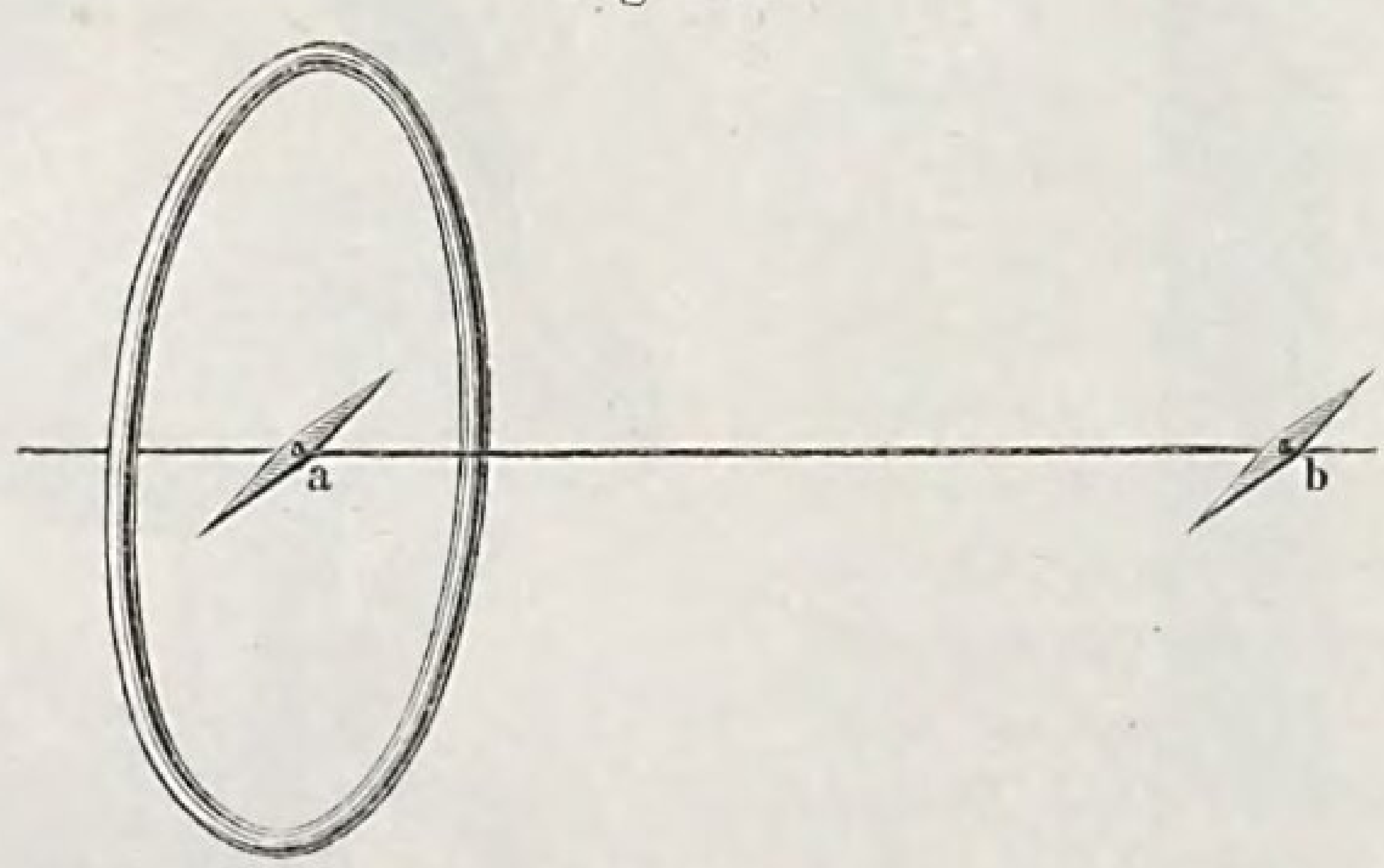
Einen äusserst empfindlichen Multiplicator hat Buff in den „Annal. d. Chem. und Pharm. Bd. LXXXVI" beschrieben. 12 000 Windungen eines sehr feinen übersponnenen Kupferdrahtes sind auf eine cylindrische Hülse von Kupfer aufgewunden. Innerhalb derselben hängt ein kurzes dickes Magnetstäbchen, welches mit einer über den Theilkreis beweglichen Nadel zu einem astatischen System verbunden ist. Wird die obere Nadel durch eine nicht magnetische nur als Zeiger die-

nende Nadel ersetzt, so ist das Instrument gewissermaassen eine multiplicirende Tangentenbussole.

Selbst bei Multiplicatoren, zu deren Construction chemisch reiner Kupferdraht verwendet wurde, hat man noch magnetische Einwirkungen der Drahtwindungen auf das astatische Nadelpaar beobachtet, welche in diesem Falle nur von einem Eisengehalt der gefärbten Seide herrühren können, mit welcher der Draht übersponnen ist. Es ist deshalb der Vorschlag gemacht worden, den Draht nur mit ungefärbter Seide zu überspinnen.

Galvanometer, Tangenten- und Sinusbussole. Bereits im §. 94 haben wir das gebräuchlichste Galvanometer, die Weber'sche Tangentenbussole, kennen gelernt. Bei diesem Instrumente kann man, wie erwähnt wurde, die Stromstärke nur so lange als der Tangente des Ablenkungswinkels proportional annehmen, als die Nadel klein ist im Vergleiche zum Durchmesser des Ringes. Ist dies nicht mehr der Fall, ist der Ring verhältnissmässig eng, so wird bei zunehmender Stromstärke die Ablenkung mehr und mehr gegen diejenige zurückbleiben, welche man nach dem Gesetze der Tangenten erwarten sollte, weil ja bei wachsender Ablenkung die beiden Nadelspitzen sich merklich weiter vom Kreisstrome entfernen. Wird aber nun die Nadel aus dem Mittelpunkte a, Fig. 400, des Ringes herausgebracht, indem man sie auf der **140**

Fig. 400.



Axe des Kreisstromes zur Seite schiebt, so wird die Tangente des Ablenkungswinkels, wenn der Abstand der Nadel von der Ebene des Ringes etwas bedeutend geworden ist, wenn sich z. B. die Nadel in b befindet, in einem rascheren Verhältniss wachsen, als die Stromstärke; denn wenn die Nadel aus dem magnetischen Meridian abgelenkt wird, so nähert sich das eine Ende derselben dem Ringe, während das andere sich von demselben entfernt, dabei aber nimmt die Einwirkung des Ringes auf das genäherte Ende in rascherem Verhältniss zu, als sie auf das entfernte abnimmt.

Da nun aber die durch den Strom bewirkte Ablenkung der Nadel stets etwas zu gross ausfällt, wenn sie sich in *b* befindet, während sie zu klein bleibt, wenn sie den Mittelpunkt *a* des Kreisstromes einnimmt, so muss es zwischen *a* und *b* eine Stellung für die Nadel geben, für welche in der That die Tangente des Ablenkungswinkels der Stromstärke stets proportional ist. H. Helmholtz und Gaugain haben gezeigt, dass dies der Fall ist: wenn der Abstand des Mittelpunktes der Nadel vom Mittelpunkte *a* des Kreisstromes $1/4$ des Ringdurchmessers beträgt.

Will man eine Gaugain'sche Tangentenbussole mit mehreren Drahtwindungen construiren, so müssen dieselben sämmtlich auf der Mantelfläche eines Kegels liegen, dessen Höhe *rs*, Fig. 401, $1/4$ seiner Basis *tu* beträgt. Der Drehpunkt der Nadel muss dann mit der Spitze *s* des Kegels zusammenfallen und die Ebene der Kegelbasis muss in der Ebene des magnetischen Meridians eingestellt werden.

Die einzelnen Drahtlagen sind in Rinnen eingelegt, welche in die Oberfläche eines hohlen Kegels von Holz oder von Metall eingeschnitten sind, wie dies Fig. 401 andeutet. Ist dieser Conus von Metall, so müssen die Drähte gut mit Seide übersponnen sein, damit sie mit der Masse des hohlen Kegels nicht in Berührung kommen.

Fig. 401.

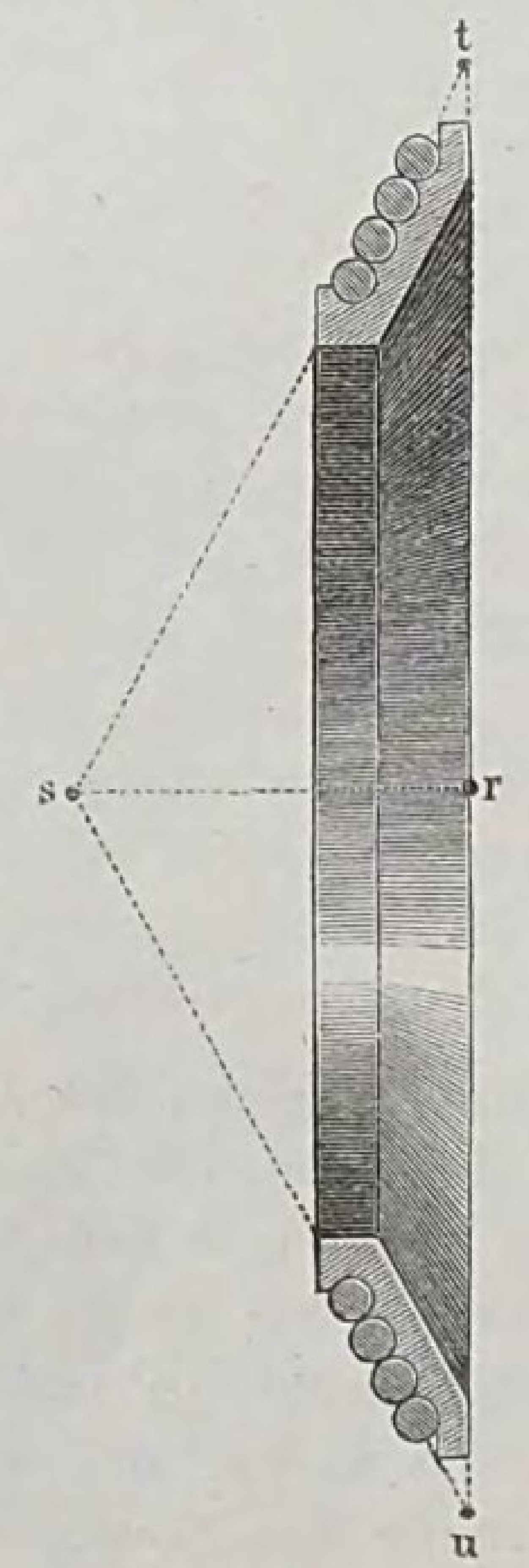


Fig. 402.

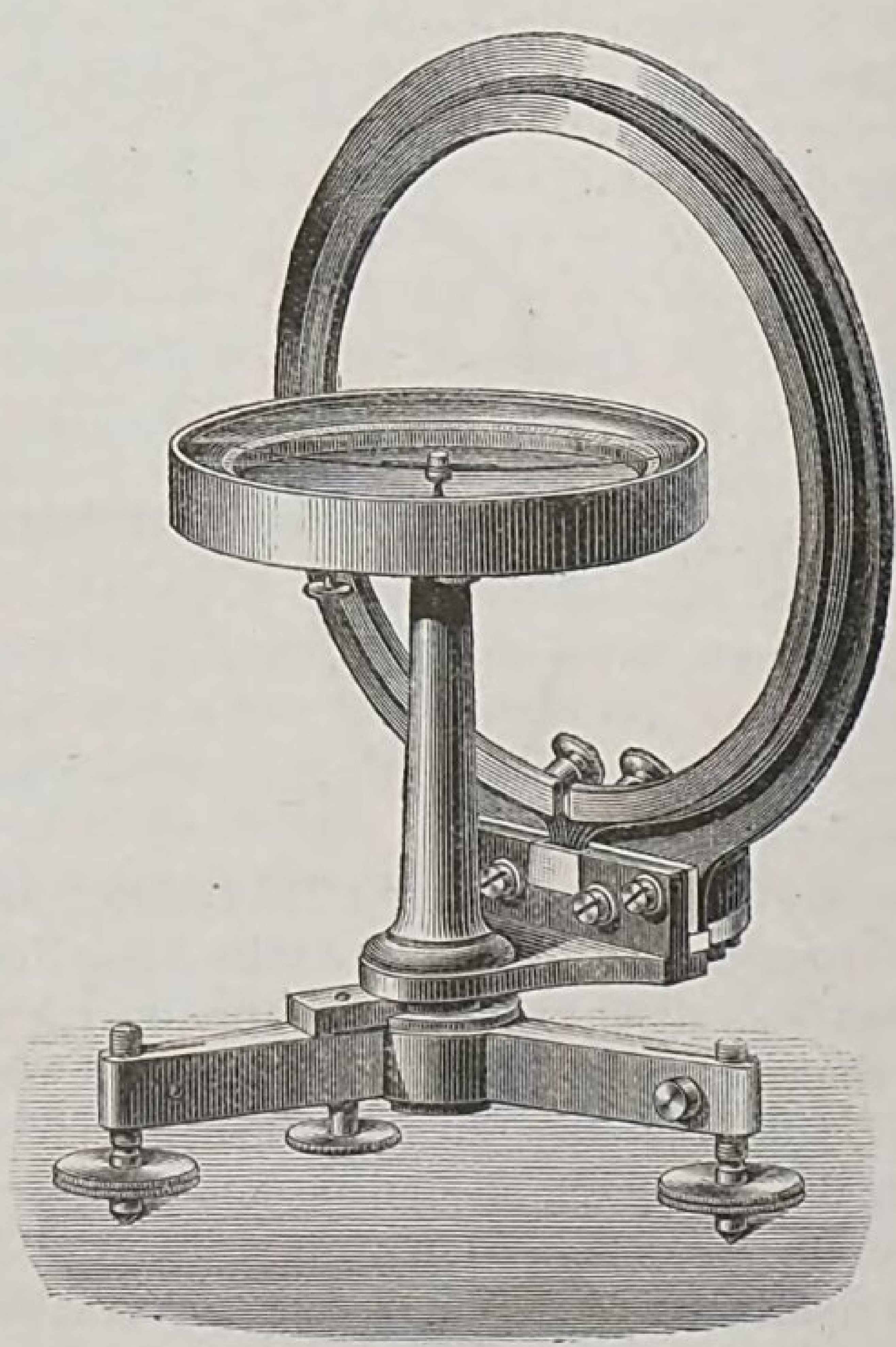
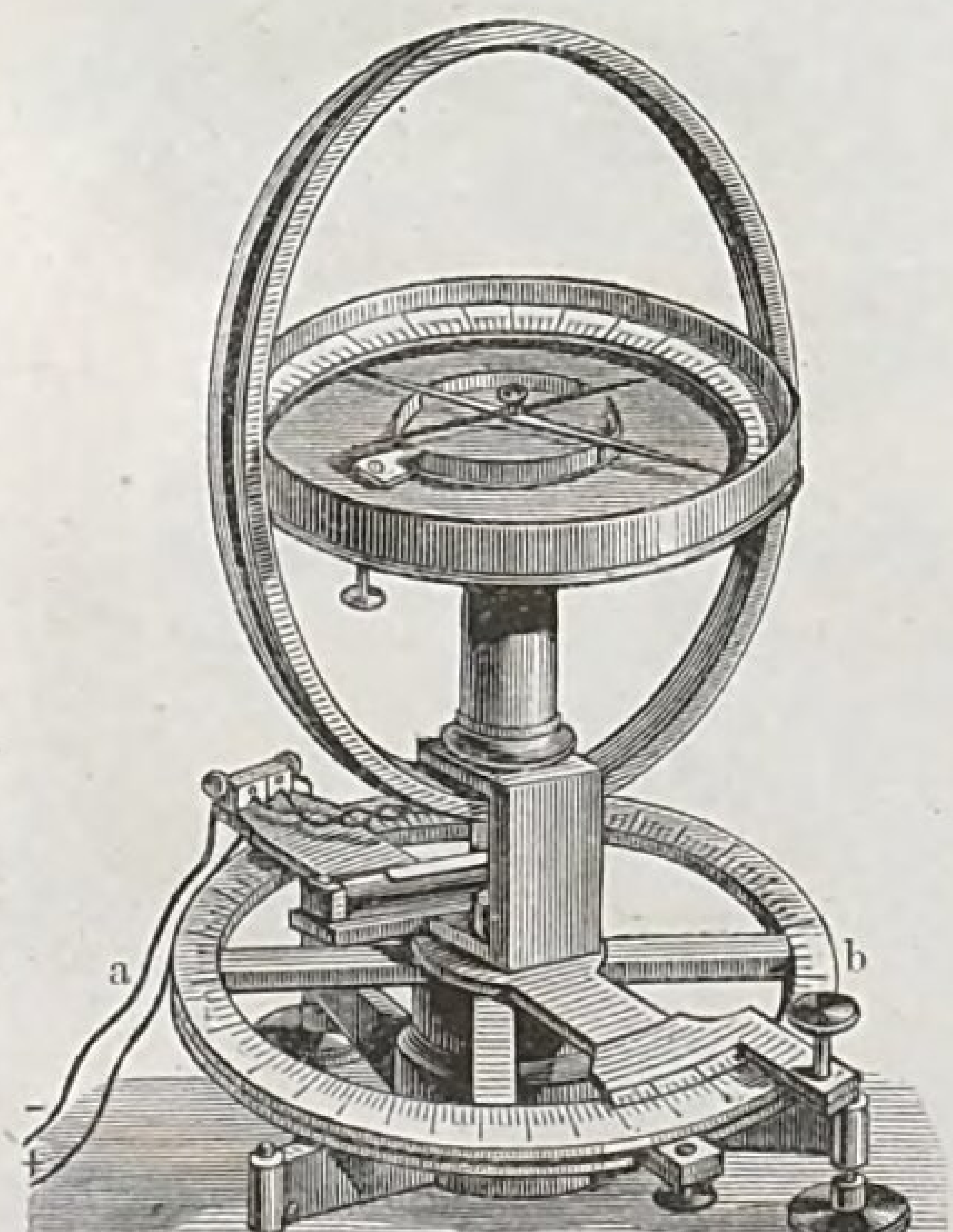


Fig. 402 stellt eine von Siemens und Halske construirte Gaugain'sche Tangentenbussole dar. Der conische Ring, auf welchem die 4 Drähte aufgewunden sind, ist von Messing. Jeder der 4 Drähte ist von der Masse des Messingringes, sowie von den anderen Drähten isolirt und endet mit zwei Klemmschrauben, so dass man nach Belieben den Strom nur durch einen oder durch mehrere Drahtringe kann gehen lassen, und zwar so, dass die 4 Drahtringe entweder einen einzigen von 4fachem Querschnitt repräsentiren oder, dass sie einen Draht von einfachem Durchmesser darstellen, der in 4 Windungen um den Messingring gelegt ist, oder mit anderen Worten, dass man sie neben- oder hinter einander combiniren kann.

Ausserdem aber ist der conische Messingring selbst, welcher zum Aufwinden der Drähte dient, unten aufgeschlitzt und jedes Ende mit einer Klemmschraube versehen, so dass dieser Ring selbst als stromleitender Kreis benutzt werden kann.

Die Sinusbussole unterscheidet sich von der Tangentenbussole dadurch, dass die Ebene der Drahtwindungen nicht in den magnetischen Meridian festgestellt, sondern der abgelenkten Magnetnadel nachgedreht wird, bis wiederum die Nadel in die Ebene der Drahtwindungen zu liegen kommt. Es wird dann der Winkel v abgelesen, um welchen die Ebene der Drahtwindungen aus der Meridianebene herausgedreht werden musste. Fig. 403 zeigt eine solche Sinusbussole in einfacher Ausführung. ab ist der Theilkreis, an welchem der Winkel v abgelesen wird.

Fig. 403.



Da bei der Sinusbussole die Pole der Magnetnadel bei der Ablesung nie ausserhalb der Ebene der Drahtwindungen liegen, so entfällt für sie die bei der Tangentenbussole nöthige Bedingung, dass die Nadellänge klein sei gegenüber dem Durchmesser des Stromkreises. Deshalb kann auch die Sinusbussole empfindlicher gemacht werden, da man die Drahtwindungen der Nadel beliebig nähern darf.

Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian entfernte Nadel in denselben zurückzuführen strebt, ist $R \sin. v$ (siehe §. 24). Wenn wir nun die Kraft, mit welcher der Kreisstrom

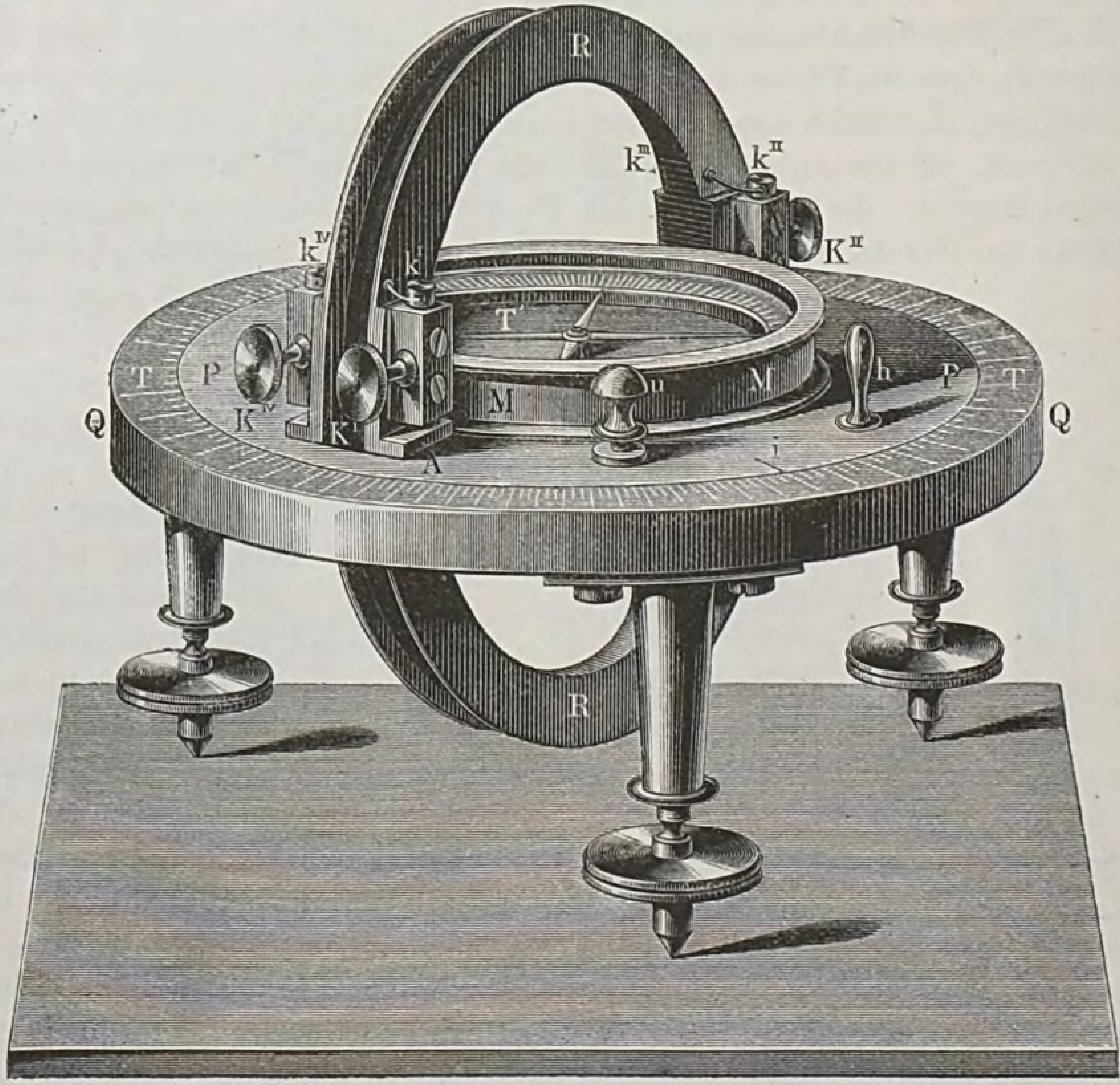
die in seiner Verticalebene liegende Nadel aus derselben herauszudrehen strebt, mit S bezeichnen, so haben wir für den Fall des Gleichgewichts bei der Sinusbussole

$$S = R \ sin. \ v.$$

Die Stromstärke ist also, wenn während der Ablesung die Nadel stets in der Verticalebene des Kreisstromes liegt, dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional, weshalb dieses Instrument den Namen der Sinusbussole führt.

Es ist klar, dass die Stärke des Magnetismus der Nadel keinen Einfluss auf die Grösse der Ablenkung hat, denn wenn die Nadel stärker magnetisch wäre, so würde die Einwirkung des Stromes und die des Erdmagnetismus auf die Nadel in gleichem Verhältniss zunehmen.

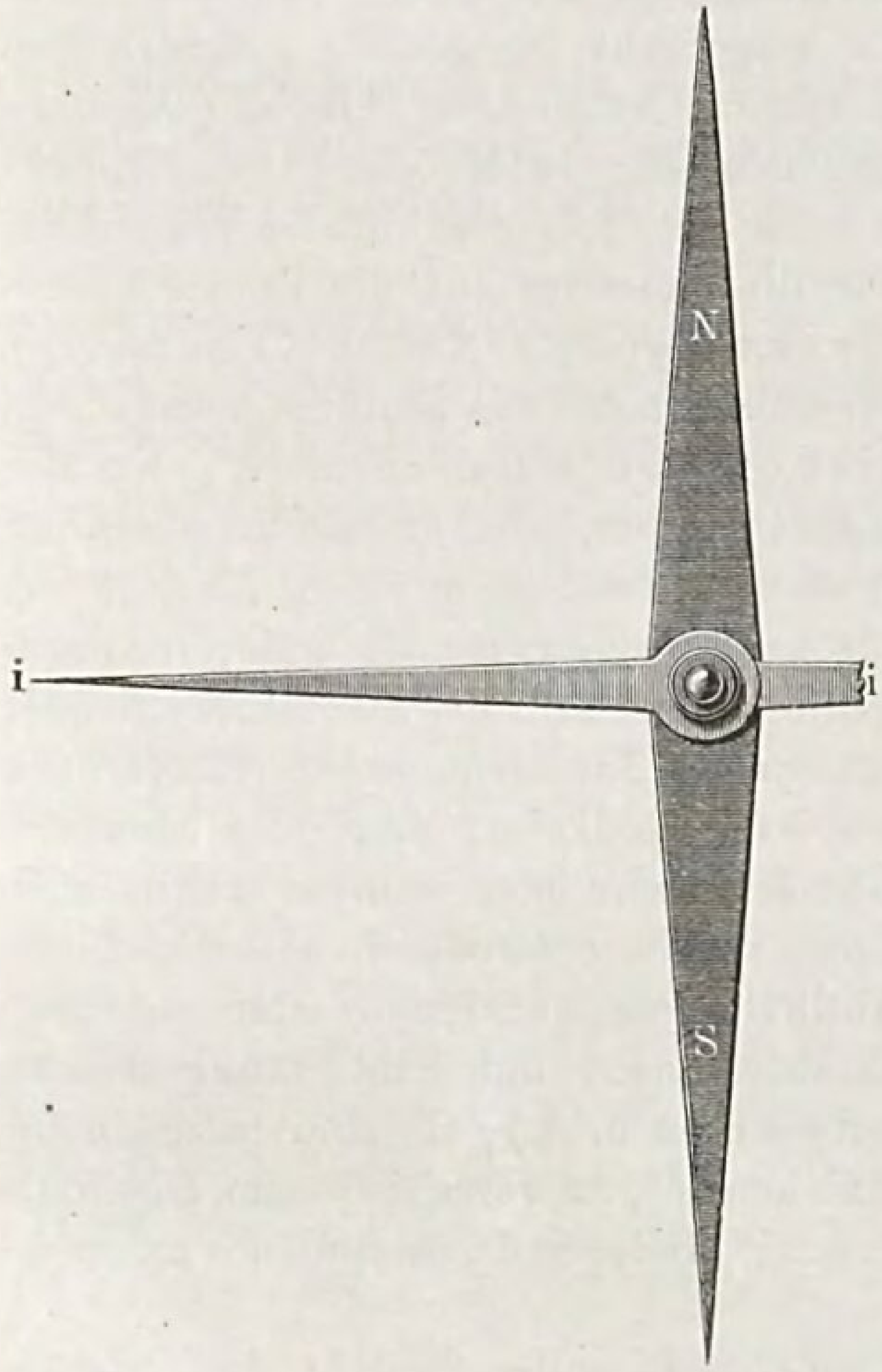
Fig. 404.



Siemens und Halske haben der Sinusbussole die für manche Fälle sehr zweckmässige Form Fig. 404 gegeben. In dem aus Messingblech verfertigten Rahmen R sind zweierlei Drahtwindungen eingelegt; die eine Abtheilung besteht aus einem 1,34 mm dicken Drahte, welcher

mit 16 Windungen in den Rahmen R eingelegt ist und dessen Enden mit den Klammern K^{I} und K^{IV} verbunden sind. Ausser diesem ist dann noch ein dünnerer ungefähr 0,25 mm dicker Draht mit ungefähr 1000 Windungen in den Rahmen eingelegt und seine Enden sind an den Klammern K_{II} und K^{III} befestigt.

Fig. 405.



Der Kreisrahmen R ist in die kreisrunde Messingplatte P eingesetzt, welche in die den Theilkreis T tragende Platte Q conisch eingedreht ist und in derselben durch die Elfenbeinknöpfe h gedreht werden kann. Auf derselben Platte steht die Bussole M mit dem Theilkreise T'.

Auf der Magnetnadel, welche lang ist, wie NS, Fig. 405, wenn das Instrument als Sinusbussole dienen soll, oder kurz, wie NS, Fig. 286 auf S. 290, wenn man es als Tangentenbussole benutzen will, ist rechtwinklig zur Nadelaxe der Index ii befestigt.

Spiegelgalvanometer im Allgemeinen. Die Tangenten- 141
bussole ist nur für verhältnissmässig starke Ströme hinreichend empfindlich, die Sinusbussole ist empfindlicher, aber unbequem im Gebrauche wegen der nöthigen Nachstellung des Stromkreises, der gewöhnliche Multiplicator ist zu Messungen wenig geeignet, weil kein einfaches Gesetz die Ablenkungswinkel mit den Stromstärken verbindet. Diese Lücke wird durch die Spiegelgalvanometer bestens ausgefüllt. Sie beruhen darauf, dass beim Multiplicator, so lange die Ablenkungswinkel sehr klein bleiben, dieselben oder deren trigonometrische Tangenten ohne erheblichen Fehler den Stromstärken proportional gesetzt werden dürfen. Um aber so kleine Winkel mit genügender Schärfe messen zu können, bedient man sich der Poggendorff'schen Spiegelablesung, deren Princip wir bereits Seite 38 auseinandergesetzt haben.

Die Spiegelgalvanometer sind in sehr verschiedenen Formen ausgeführt worden, welche wir unmöglich alle beschreiben können. Die Hauptbestandtheile der hierher gehörigen Instrumente sind folgende:

1. Der Magnet mit dem Spiegel. Der erstere ist bei horizontaler Lage der magnetischen Axe mit dem vertical stehenden Spiegel fest verbunden und beide sind zusammen an einem Coconfaden so aufgehängt, dass sie sich um eine verticale Axe frei drehen können. Der Magnet hat bald die Form eines wagerecht hängenden cylindrischen Stabes (Weber), bald die einer vertical hängenden Scheibe (Wiedemann), bald die eines vertical hängenden Ringes (Meyerstein, Edelmann), bald die eines von unten nach aufwärts geschlitzten Fingerhuts (Siemens' Glockenmagnet), bald die mehrerer auf die Rückseite des Glasspiegels in horizontaler Lage aufgeklebter Nadeln (Thomson). Der Spiegel ist entweder an die Verticalfläche des Stahlmagnets direct angeschliffen, wie z. B. bei Wiedemann's Galvanometer, wo der kreisförmige Spiegel selbst als Magnet fungirt, oder er besteht aus einer möglichst dünnen versilberten Glasscheibe, welche mit dem Magnet fest oder verstellbar verbunden ist. Je nach der einen oder anderen Anordnung befindet sich der Spiegel ebenfalls innerhalb des Stromkreises, oder ausserhalb desselben in einem eigenen vor Luftströmungen schützenden Gehäuse mit Fenster. Der Spiegel ist nach Bedarf eben oder concav.

2. Der Stromkreis besteht aus mehr oder weniger zahlreichen unter sich isolirten Drahtwindungen, welche entweder in einer einzigen oder in mehreren getrennten Abtheilungen auf einen oder auf zwei Rahmen gewickelt sind. Die Drahtrahmen sind bald langgestreckt, (Weber), bald kreisrund (Wiedemann u. A.), sie sind bald ein für allemal befestigt, bald, was vorzuziehen ist, in verschiedenem Abstande von dem Magnete verstellbar und mit anderen Drahtspulen vertauschbar (Wiedemann).

3. Die Ablesevorrichtung. Dieselbe besteht bei wissenschaftlichen Messungen meistens aus Fernrohr und Scala (S. 38), bei Demonstrationen vor einem Auditorium aus einer Projectionsvorrichtung mit einer Scala. In letzterem Falle fällt das Licht einer Lampe entweder auf den Planspiegel des Galvanometers, und wird nach der Reflexion durch eine Convexlinse soweit convergent gemacht, dass auf einem Schirme, der die Scala enthält, ein Bild der Flamme oder der Lichtspalte entsteht, oder dieses Bild wird ohne Linse durch den Concavspiegel des Galvanometers entworfen.

4. Die Dämpfung. Um die Schwingungen des Magnets vor dem Eintreten der neuen Gleichgewichtslage abzukürzen oder ganz zu unterdrücken, werden Dämpfungsvorrichtungen angebracht. Dieselben sind entweder mechanischer Art, indem durch den Widerstand, den eine mitschwingende Platte in Luft oder in einer tropfbaren Flüssigkeit erleidet, die Schwingungen gehemmt werden, oder, was häufiger der Fall, diese Hemmung geschieht durch die Rückwirkung von elektrischen Strömen, die der Magnet durch seine Bewegung in umgebenden Leitern erzeugt. Diese Ströme (Inductionsströme) werden wir später kennen lernen. Hier genügt zu wissen, dass diese Dämpfung desto stärker ist, je besser leitend

nach Material und Form und je näher am Magnet gelegen die umgebenden Metallmassen sind. Man giebt ihnen die Form eines dickwandigen kupfernen Gehäuses. Vortheilhaft ist es auch, diese Metallmassen in verschiedene Abstände vom Magnet bringen zu können (Regulirbare Dämpfung).

5. Die Astasirungsvorrichtung. Selten, und nur wenn es sich um die allergrösste Empfindlichkeit handelt, wendet man bei Spiegelgalvanometern astatische Nadelpaare an. Dagegen gebraucht man häufig zur mehr oder weniger weitgehenden Compensation der Richtkraft des Erdmagnetismus einen oberhalb, unterhalb oder (meistens) seitwärts vom Galvanometer horizontal aufgestellten Magnet (Haüy'scher Stab). Derselbe ist meist sowohl grob als auch mikrometrisch verstellbar, nach Du Bois Reymond vom Beobachtungsfernrohr aus mittelst einer Schnurtransmission in Bewegung zu setzen. Manchesmal erfolgt die grobe Einstellung mittelst eines grösseren, die feine Einstellung mittelst eines kleineren astasirenden Magnets.

Durch eine solche Astasirungsvorrichtung in Verbindung mit einer Dämpfung kann man es erreichen, dass der Magnet des Galvanometers ohne weitere Schwingungen direct in die neue Ruhelage übergeht, wodurch die Messungen sehr viel bequemer werden. Man heisst diesen Zustand einer Magnetnadel den aperiodischen Zustand derselben. E. du Bois Reymond hat diesen Zustand zuerst eingehend studirt und dessen Bedeutung hervorgehoben (Die aperiodische Bewegung gedämpfter Magnete; Berliner Akad. Ber. 1860, 1870).

Werden die Schwingungen der Magnetnadel nur durch eine starke Dämpfung verhindert, so hat der Apparat nur geringe Empfindlichkeit; er wird dagegen sehr empfindlich, wenn man nur eine schwache Dämpfung und daneben eine Astasirung anbringt. Je schwächer in diesem Falle die Dämpfung, desto näher ist der astasirende Magnet zu bringen, um den aperiodischen Zustand herbeizuführen und desto empfindlicher wird das Instrument.

Specielle Formen des Spiegelgalvanometers. Wir wollen 142
nun einige specielle Formen von Spiegelgalvanometern näher kennen lernen.

Einer der einfachsten hierher gehörigen Apparate ist Weber's Spiegelgalvanometer, Fig. 406 (a. f. S.), welches wir schon zum Theil in §. 18 kennen gelernt haben. Das transportable Magnetometer ist eben dadurch zu einem Multiplicator gemacht worden, dass der Magnetstab mit einer Reihe von Windungen übersponnenen Kupferdrahtes umgeben ist. Die Drahtwindungen bestehen aus drei gesonderten Drahtstücken, von denen jedes drei Lagen bildet. Jedes Ende eines jeden Drahtstückes ist mit einer Klemmschraube versehen, wie man Fig. 407 deutlicher sieht, und zwar bilden f und f' die Enden der untersten, g und g' die Enden der mittleren, h und h' endlich die Enden der

obersten Drahtlage. Mittelst dieser Klemmschrauben ist man nun im Stande, die Drahtlagen auf verschiedene Weise zu combiniren, je nachdem es die Eigenthümlichkeiten des durchzusendenden Stromes erfordern.

Fig. 406.

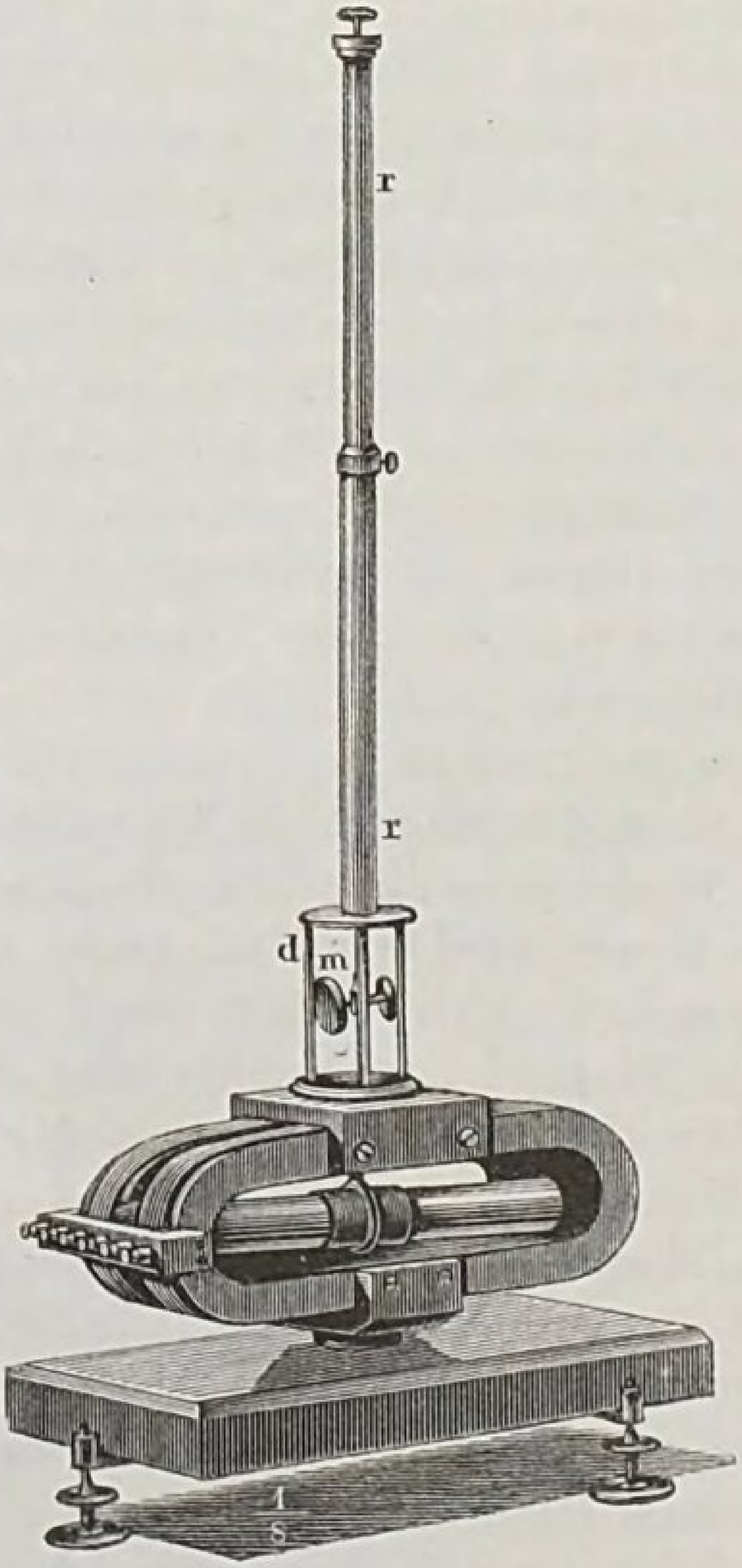


Fig. 407.

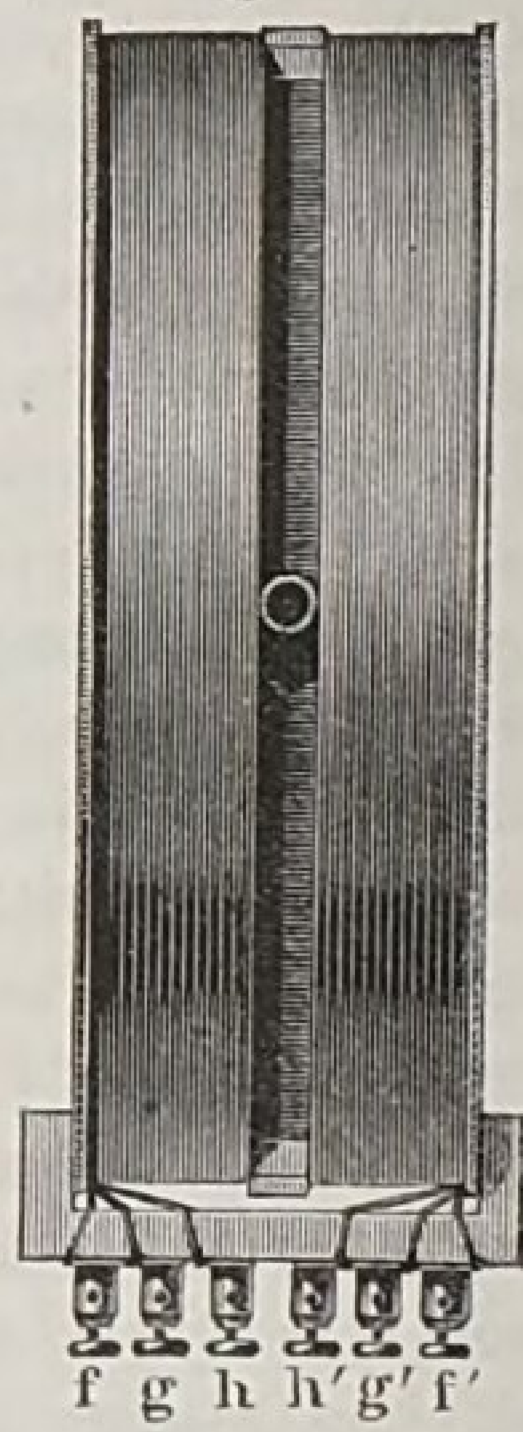
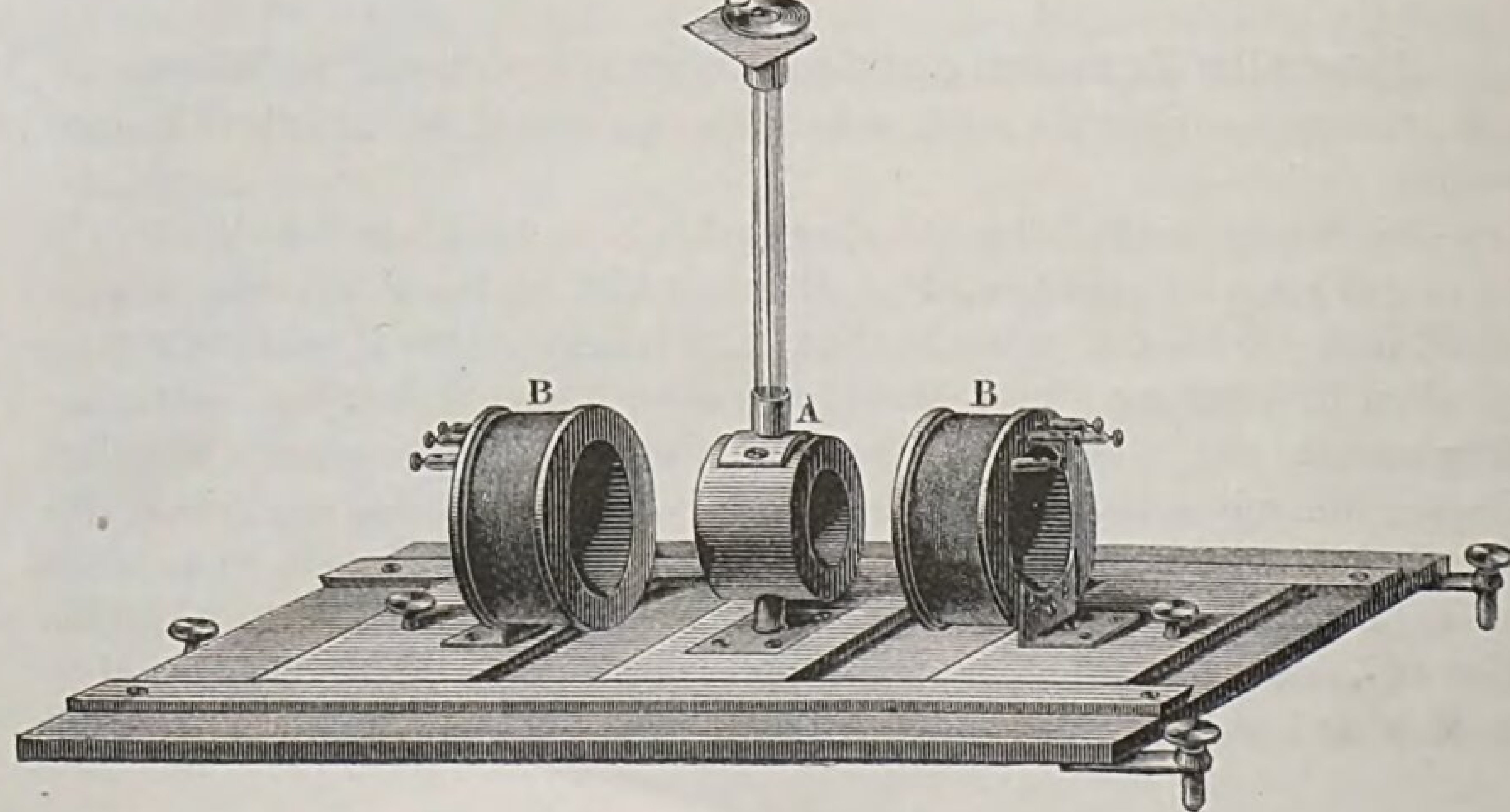


Fig. 409.



Fig. 408.



Wiedemann's Spiegelgalvanometer ist Fig. 408 dargestellt. Innerhalb einer Kupferhülse A, deren Wanddicke 17 mm beträgt, hängt, von einem Coconfaden getragen, ein Stahlspiegel von 1 mm Dicke und 19 mm Durchmesser, welcher so magnetisirt ist, dass sein horizontaler Durchmesser die magnetische Axe desselben bildet, wie dies Fig. 409 darstellt.

Auf jeder Seite der Kupferhülse A ist eine Drahtspirale B so angebracht, dass die Axen der Drahtspiralen in die Verlängerung der Axe der Kupferhülse fallen, und dass man sie nach Belieben der Kupferhülse nähern, ja theilweise über dieselbe schieben, oder sie von derselben entfernen kann. Jede dieser Spiralen ist durch zwei 60 m lange 1 mm dicke Drähte gebildet; jedes Drahtende ist mit einer besonderen Schraubklemme versehen, so dass die einzelnen Drähte auf mannigfaltige Weise mit einander verbunden werden können.

Der Apparat wird so aufgestellt, dass die Axe der Drahtwindungen und der Kupferhülse rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, dass also die Ebene des Stahlspiegels, wenn er nur durch den Erdmagnetismus gerichtet wird, parallel mit der Ebene der Drahtwindungen ist.

Um Luftströmungen abzuhalten, ist die Kupferhülse auf beiden Seiten durch geschliffene Glasplatten verschlossen.

Die Ablenkungen des Spiegels werden wie beim Magnetometer durch ein Fernrohr abgelesen, welches sammt der Scala in der Verlängerung der Axe, der Hülse und der Spiralen in einem Abstande von ungefähr 2 m aufgestellt ist. Der astasirende Stab wird ausserhalb aufgestellt.

M. Th. Edelmann giebt von dem Wiedemann'schen Instrumente die nachfolgende Beschreibung (Neuere Apparate pag. 157).

In der Mitte eines runden Fusses P, Fig. 410 (a. f. S.), mit drei Stellschrauben steckt ein Conus C, der die Drehung des Apparates um die verticale Axe zum Zwecke der leichteren Einstellung in den magnetischen Meridian gestattet. Die Schraube a fixirt diese Lage. Auf dem Conus C sitzt der Messingring A, der das Hauptlager für die messenden Bestandtheile bildet. In ihm sind befestigt:

1. Zwei runde Führungsstäbe TT für die beiden Drahtrollen R (in der Figur ist die vordere Rolle weggelassen); ihre Enden sind durch übergesteckte Klammern m zusammengehalten, welche nur beim Auswechseln der Rollen abgenommen werden.

2. Der axiale Stift o, Fig. 410, 411, 413 (a. S. 467), auf welchem der Dämpfer D steckt.

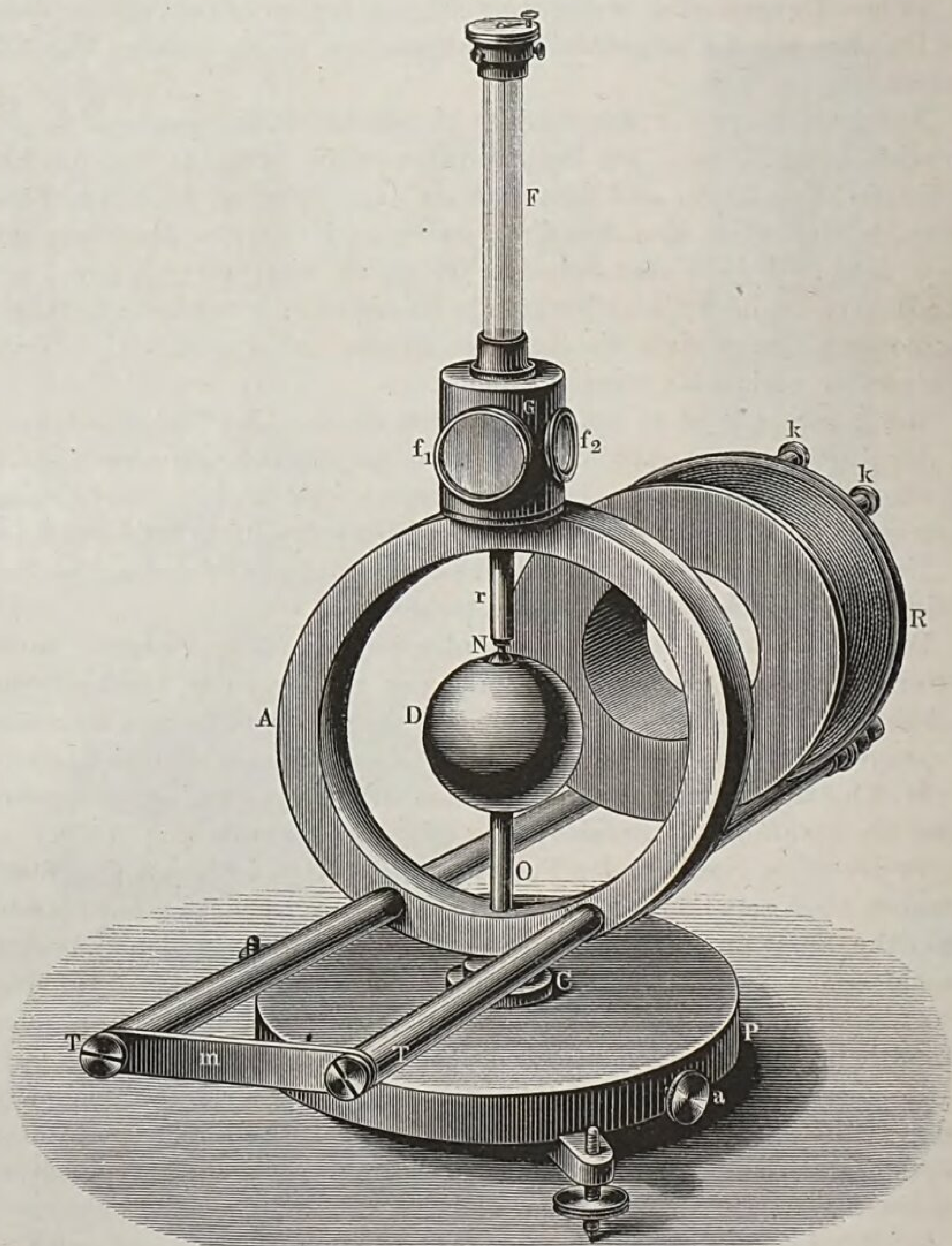
3. Die Röhre r, Fig. 410, 411, dem oberen Lager für den Dämpfer.

4. Die Spiegelkapsel G und die Fadensuspensionsvorrichtung F mit ihrem Torsionskopfe.

In den Magnet N, Fig. 410, 411, 412, 413, ist ein Schildpattstäbchen s eingeschraubt, das frei durch die Röhre r hindurchgeht und den Magnet mit dem Spiegel S (Fig. 412) verbindet, welcher sich inner-

halb des Spiegelgehäuses G befindet. Der Spiegel S ist mittelst dreier Träger an einem leichten Rahmen befestigt.

Fig. 410.



Die Bewegungen des Spiegels werden durch das Fenster f_1 hindurch mit Spiegel und Scala abgelesen, oder auch objectiv projicirt, wobei Lichtstrahlen von einem Spalt ausgehend, durch das Fenster f_1 zum Spiegel gelangen, und durch das Fenster f_2 und eine Projectionslinie gehend, auf einem Schirme aufgefangen werden.

Das Spiegelgehäuse G lässt sich um seine verticale Axe beliebig herumdrehen, ebenso auch die Spiegelfassung s im Magnet N, wodurch

man in Hinsicht auf die Wahl des Ortes für das Scalenfernrohr oder die Projectionsaxe von der Mechanik des Instrumentes unabhängig ist.

Fig. 411.

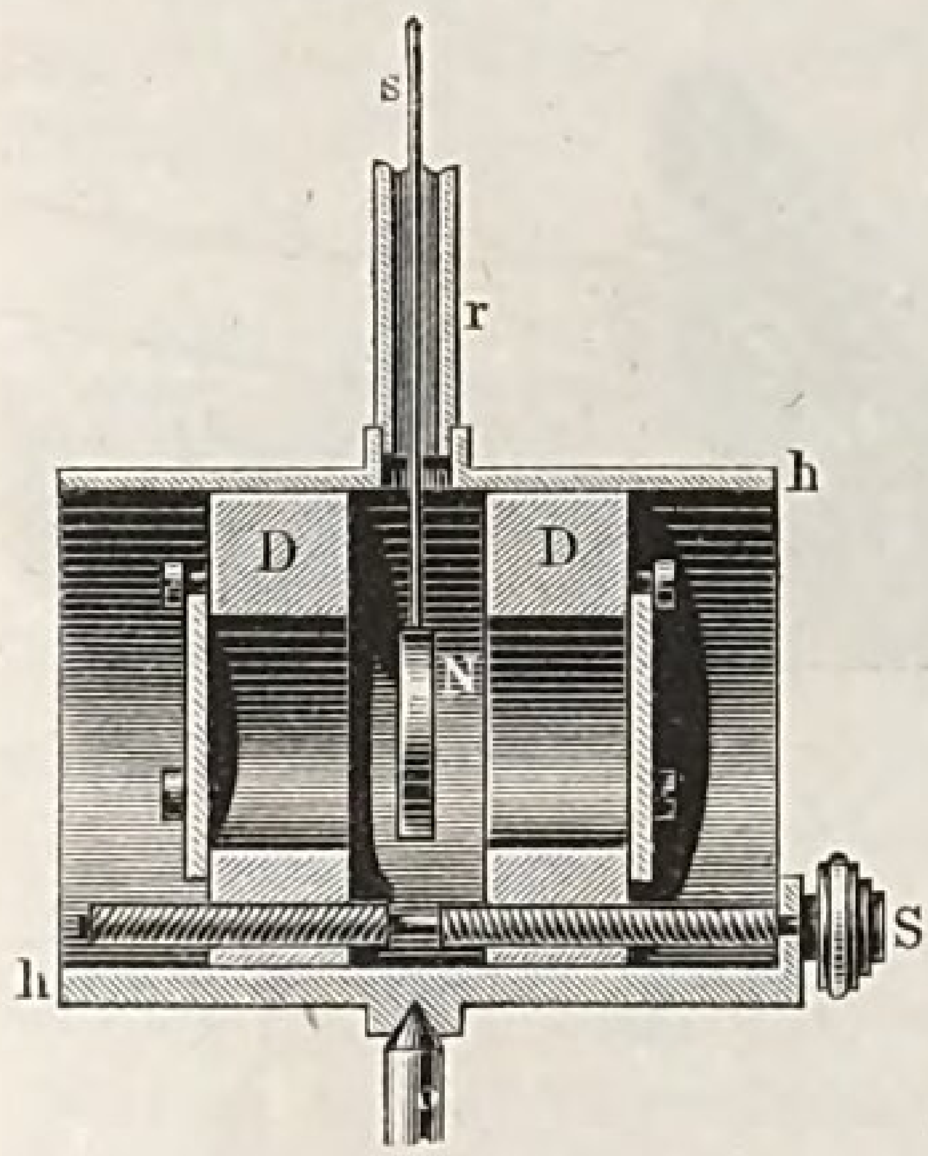


Fig. 412.



Fig. 413.

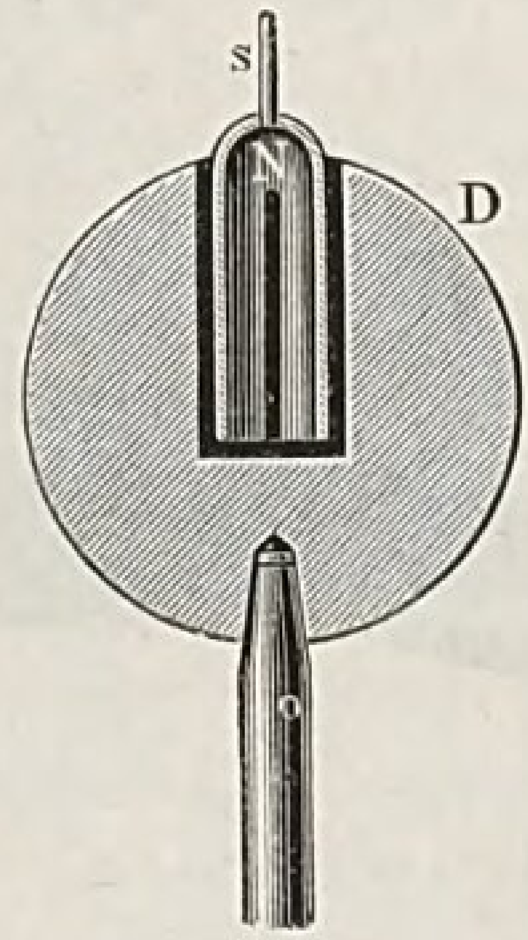
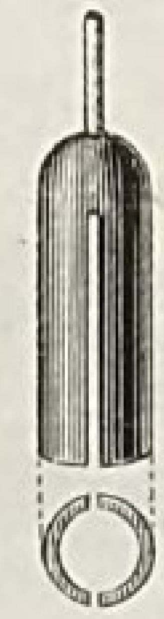


Fig. 414.



Wenn man für die Schwingungen des Magneten Aperiodicität wünscht, so bedient man sich als Dämpfer einer dickwandigen runden Kugel *D*, Fig. 410 und 413, innerhalb welcher als Nadel der Siemens'sche Glockenmagnet *N*, Fig. 413 und 414, schwingt. Durch diese Einrichtung resultiren für die Nadel Bewegungen, vermöge welcher sie aus der Ruhelage in eine neue Stellung oder umgekehrt asymptotisch förmlich fällt, ohne dass das Spiegelbild der Scala nur im Geringsten jene Schwingungen erkennen lässt, deren Beseitigung durch Beruhigen mit einem Hilfsmagnet oder durch passende Stromschlüsse Vielen lästig erscheint.

Es ist jedoch eine solche starke Dämpfung nicht immer erwünscht, z. B. wenn durch Anbringung eines astasirenden Magnets die Directionskraft der Erde vermindert und hierdurch die Empfindlichkeit des Galvanometers bedeutend erhöht werden soll. Es resultirt dann bei Verwendung des Siemens'schen Dämpfers Ueberaperiodicität. Die Magnetnadel hat keine bestimmte Ruhelage mehr und es empfiehlt sich dann die Verwendung des Edelmann'schen verstellbaren Dämpfers, Fig. 411. Derselbe besteht aus zwei starken Kupferrollen *D D* Wiedemann'scher Form, welche innerhalb einer weiten Messingröhre *h h* geführt und deren Entfernung von dem ringförmigen Magneten *N* durch die rechts- und linksgängige Schraubenspindel *S* regulirt werden kann.

Mit Hilfe dieses verstellbaren Dämpfers lässt sich jeder beliebige Grad von Dämpfung erreichen, sowie reine Aperiodicität für beliebige Directionskräfte der Nadel. Der nöthige Grad der Empfindlichkeit

wird durch passende Wahl des Rollenpaares R, sowie durch geeignete Entfernung der Rollen von der Mitte erreicht.

Von der Astasirungsvorrichtung sind in Fig. 415 und 416 zwei Constructionen abgebildet (Edelmann, Neuere Apparate pag. 160), bei

Fig. 415.

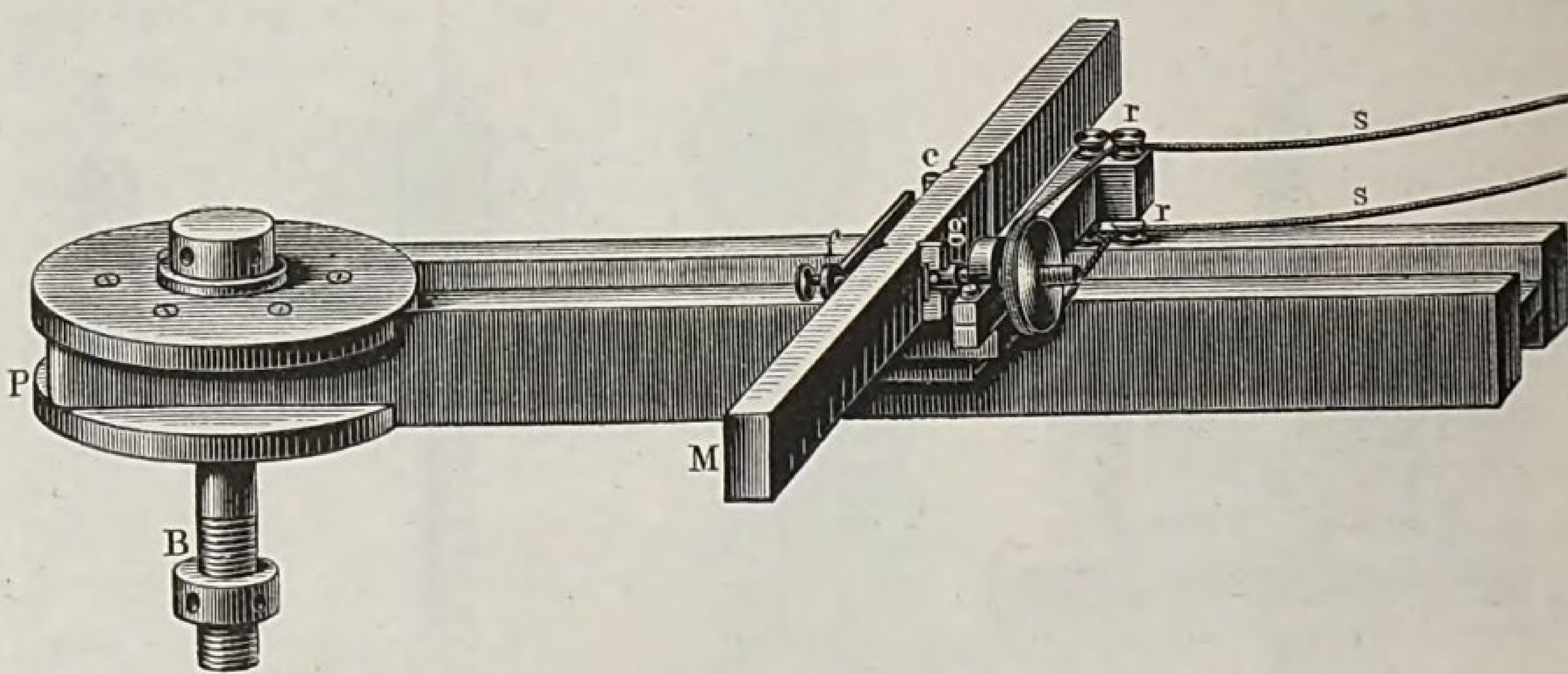
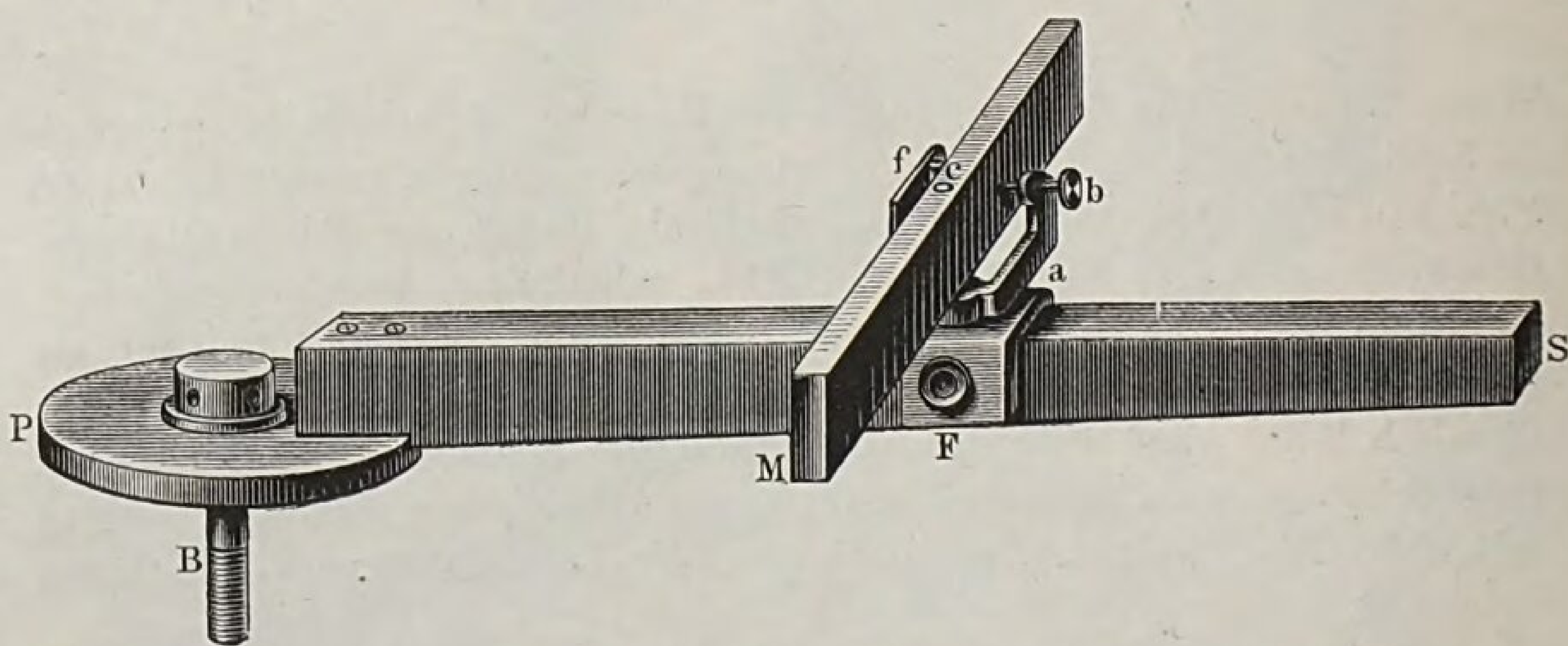


Fig. 416.



welchen man den Magnetstab M auf einen Schlitten F legt, der auf einer eigens befestigten Holzschiene S sitzt. Die Aufstellung dieser Instrumente ist vorzunehmen wie folgt.

Die Schiene S wird vermittelst ihrer Auflageplatte P und des Bolzens B auf dem Consol festgeschraubt, auf welchem auch das Galvanometer steht, wobei die Mittellinie der Schiene S entweder parallel zum magnetischen Meridian oder in der Aequatorialebene stehen und die Drehaxe der zu astasirenden Nadel durchschneiden muss. Man bringt dann den Schlitten F, jedoch ohne Magnet M, auf die Schiene, stellt ein Scalenfernrohr auf den Spiegel des Instrumentes ein, dessen Nadel sich jetzt in der Anfangslage befindet. Hierauf legt man den Magnetstab auf den Schlitten, wobei seine Lage bezüglich des Drehstiftes c und zwischen der Mikrometerschraube b (g) und einer Messingfeder f in

beiden Figuren ersichtlich ist. In beiden Constructionen kann derselbe nunmehr grob bei *a* (nur aus Fig. 416 zu entnehmen) in den Meridian gedreht werden. Eine Klemmschraube sichert hier seine Lage. Nun wird der Magnet vermittelst der Mikrometerschraube *b* (*g*) so weit gedreht, bis die Magnetnadel, durch das Ablesefernrohr beobachtet, ihre Anfangslage in der Declinationsebene wieder erlangt hat. Indem man nun den Schlitten *F* durch Schieben entlang der Schiene *S* an die Nadel entsprechend nähert, und dabei die Anfangslage der Nadel mit Hilfe der Mikrometerschraube *b* (*g*) stets wieder herstellt, kann man die Empfindlichkeit der Galvanometer etc. beliebig erhöhen.

Beide Instrumente unterscheiden sich dadurch, dass bei dem einfachen Hauy'schen Stabe die mikrometrische Drehung der Schraube *b* direct mit der Hand geschieht, bei dem du Bois'schen Apparate, Fig. 415, jedoch mit Hilfe einer Schnur *s*, welche von den Rollen *r* geführt, sich um den Kopf der Mikrometerschraube *g* herumlegt, deren beide Enden aber in die Nähe des Ablesefernrohrs geführt und hier zusammengeknüpft werden. Das letztere Instrument ist bei feineren Messungen sehr dienlich wegen der Bequemlichkeit, mit welcher es den Veränderungen der Nadelstellung zu begegnen gestattet, welche von den erdmagnetischen Variationen herrühren.

Meissner und Meyerstein haben ein Spiegelgalvanometer construirt, bei welchem man die Astasie ebenfalls mit grosser Sicherheit und Leichtigkeit nach Bedürfniss reguliren kann. Fig. 417 (a. f. S.) stellt das ganze Instrument, Fig. 418 und Fig. 419 stellen einzelne Theile desselben dar.

Der Multiplicatordraht ist auf eine dickwandige Hülse von Kupfer aufgewickelt. Die Drahtenden sind vor leitender Berührung mit der Kupferhülse geschützt, auf der einen Seite zur Messingplatte *p*, Fig. 418, auf der anderen Seite zur entsprechenden, in der Figur aber fast ganz verdeckten Messingplatte *p'* geführt. Durch Platten von Kammmasse ist eine leitende Berührung von *p* und *p'* mit der Kupferhülse verhindert, während jede der Platten *p* und *p'* einen Metallzapfen trägt, von denen der eine in der Messinggabel *g*, der andere in der Messinggabel *g'* auf der andern Seite liegt. Von *g* führt ein Messingstreifen zur Klemmschraube *k*, von *g'* zur Klemmschraube *k'*.

Fig. 418 stellt die Kupferhülse mit den Multiplicatorwindungen so dar, als ob nur ein Draht aufgewickelt wäre. In der That sind aber zwei Drähte isolirt von einander neben einander aufgewickelt, und es ist dann die Einrichtung getroffen, dass man nach Bedürfniss die beiden Drahtwindungen neben einander oder hinter einander combiniren kann. Auch gehören zu jedem derartigen Instrumente zwei Multiplicatorgewinde, von denen das eine viele Windungen sehr dünnen, das andere aber weniger Windungen dickeren Drahtes enthält. Je nach Bedürfniss kann man die eine oder die andere Spule auf die Gabeln *g* und *g'* auflegen.

Fig. 417.

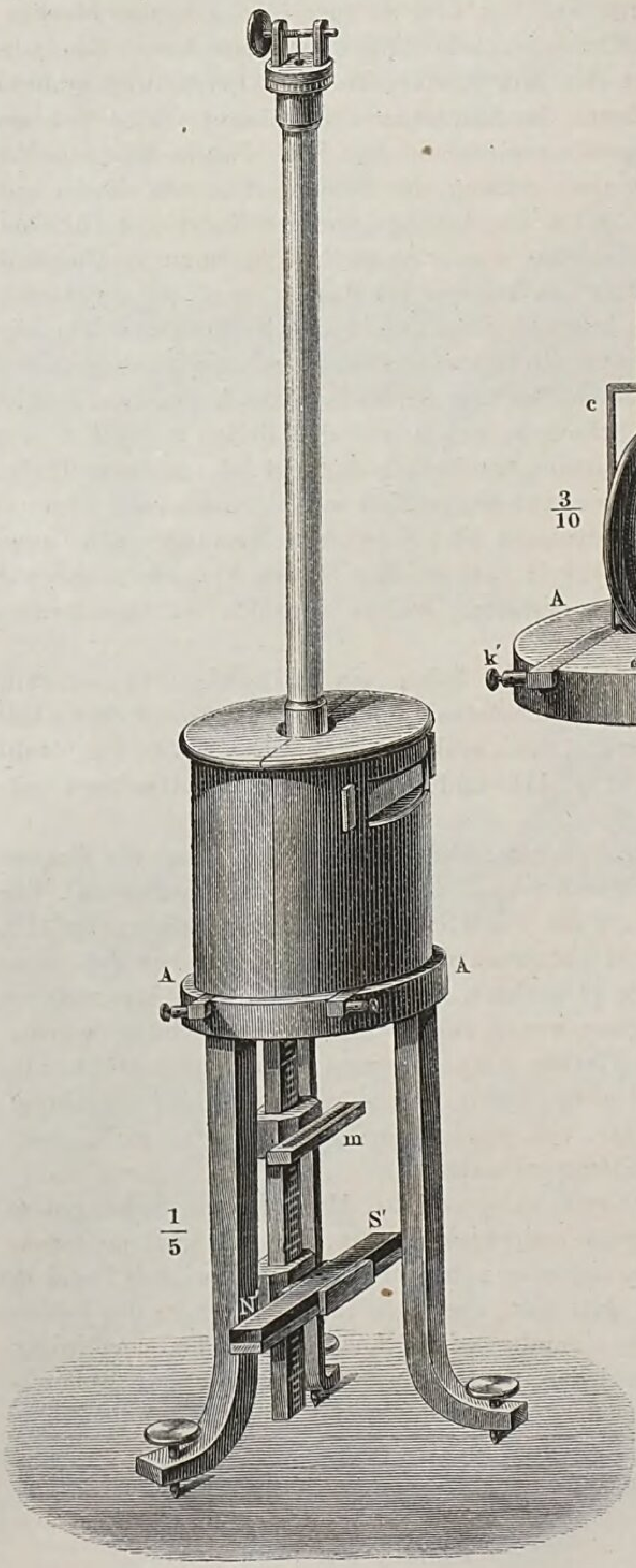


Fig. 418.

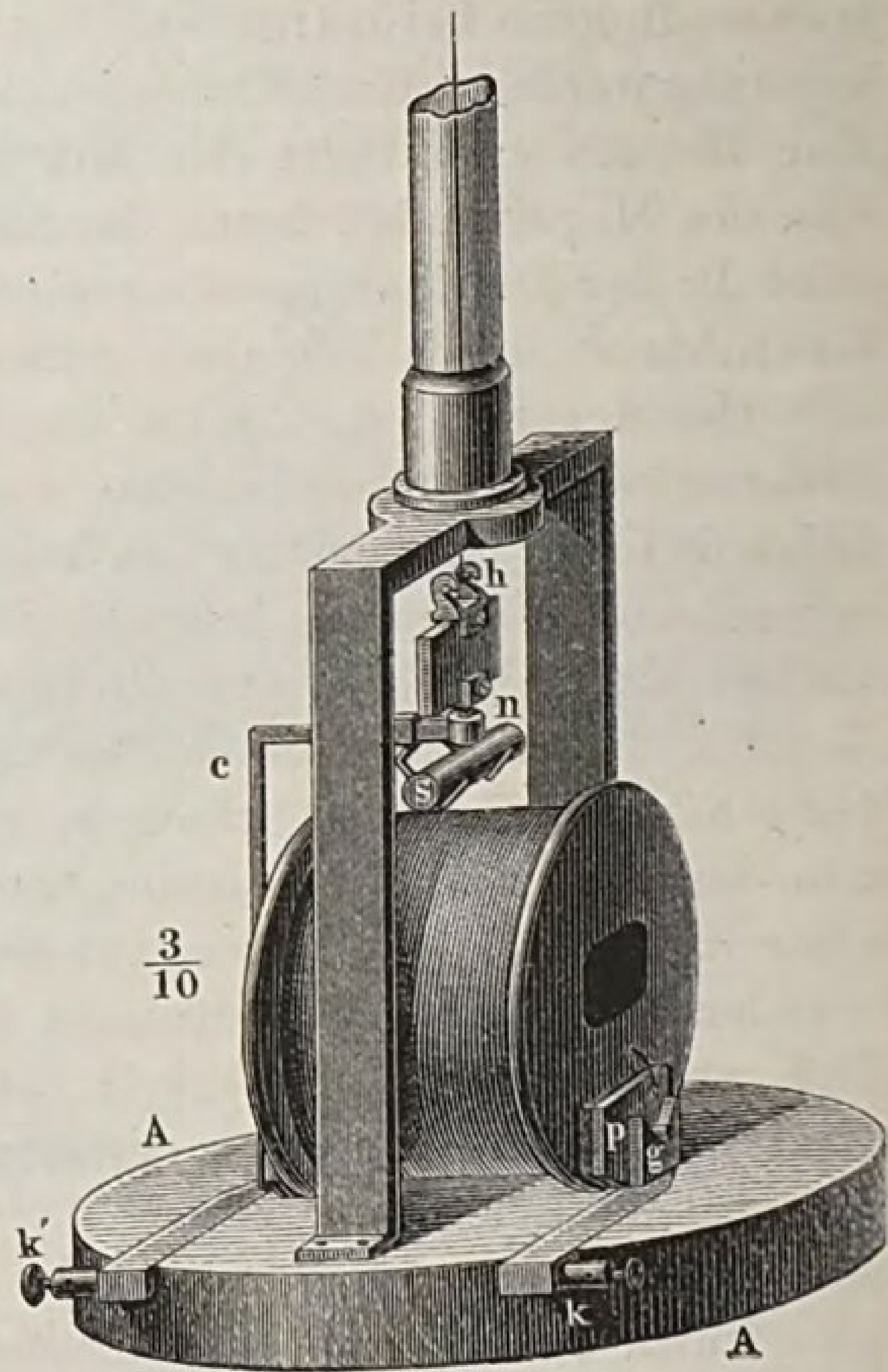
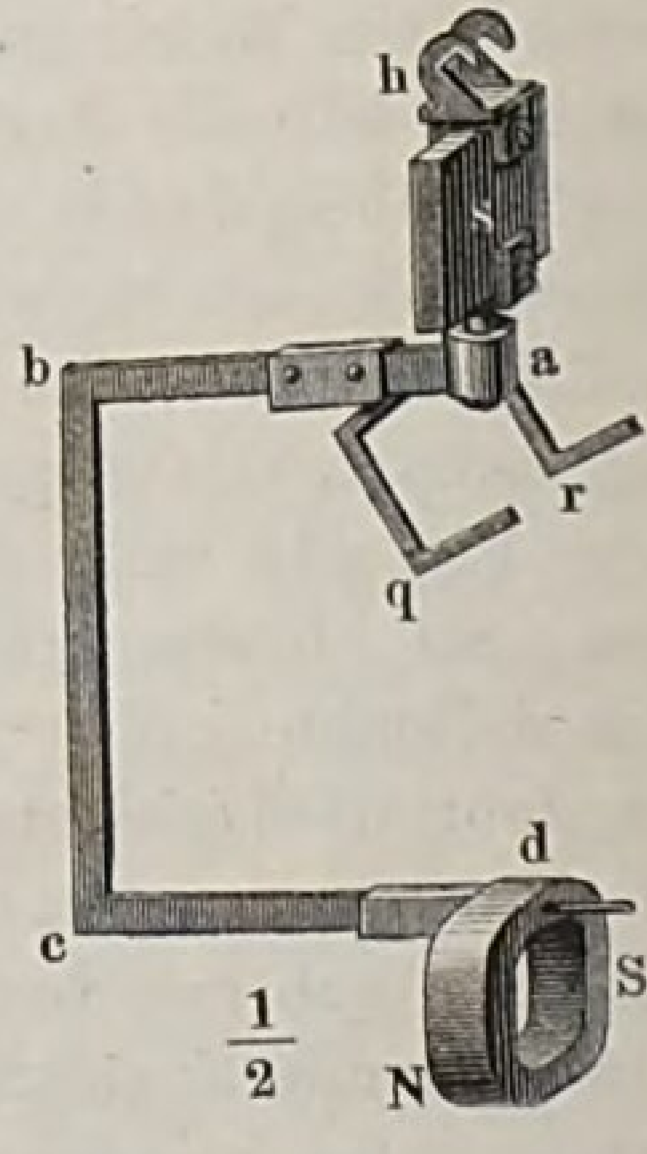


Fig. 419.



Der drehbare Magnet NS, Fig. 419, welcher die Gestalt eines elliptischen Ringes hat, wird von einem leichten Messingbügel getragen, dessen unterer horizontaler Arm cd von der einen Seite her in die Höhlung der Multiplicatorspirale hineinragt. Oben trägt der Messingbügel eine Gabel qr, in welche ein Magnetstäbchen sn so eingelegt wird, dass seine Pole die entgegengesetzte Richtung des ringförmigen Magnets NS haben, dass also NS theilweise durch sn astatisch gemacht ist.

Der Spiegel s kann um seine verticale Axe gedreht werden, so dass man seiner Ebene jede beliebige Stellung gegen den magnetischen Meridian geben kann. Mittelst der Haken h wird der Bügel $abcd$ sammt Spiegel und Magneten an einem Messingstäbchen aufgehängt, welches von einem Bündel umgedrehter Coconfäden getragen wird.

Um den Luftzug abzuhalten, ist die ganze eben besprochene Partie mit einem Holzkästchen umgeben, welches dem Spiegel gegenüber mit einer durch eine Spiegelglasplatte verschlossenen Oeffnung versehen ist, wie man Fig. 417 sieht.

An der unteren Seite der von drei Füssen getragenen Holzscheibe AA ist ein verticaler Stab angebracht, an welchem sich zwei Schieber auf und nieder bewegen und an beliebiger Stelle festklemmen lassen. Der obere dieser Schieber trägt den kleinen Magnetstab m, der untere den grösseren Magnetstab $N'S'$. Die Pole dieser beiden Magnete sind mit denen des ringförmigen Magnets NS gleichgerichtet, so dass sie also der richtenden Kraft des Erdmagnetismus auf den beweglichen Magnet NS entgegenwirken. Je nachdem man nun die Schieber mit den Magneten m und $N'S'$ höher oder tiefer feststellt, kann man den Einfluss dieser Magnete nach Belieben modificiren, oder man kann sie sammt dem in der Gabel qr liegenden Magnetstab ganz entfernen, wenn NS dem vollen Einfluss des Erdmagnetismus ausgesetzt sein soll.

Ein sehr bequemes Spiegelgalvanometer, insbesondere auch für objective Darstellung hat V. v. Lang (Wien. Akad. Ber. LXVII, pag. 101) beschrieben. Siemens und Halske construirten ferner ein transportables Spiegelgalvanometer mit einer Rolle, ein aperiodisches mit Glockenmagnet und ein astatisches, bei welchem beide Nadeln mit Rollen umgeben sind.

Das transportable Galvanometer enthält einen sehr leichten Hohlspiegel aus Stahl, der an zwei sehr kurzen Coconfäden oben und unten innerhalb einer cylindrischen Röhre aufgehängt ist, welche auch eine dämpfende Kupfermasse enthält. Diese Röhre kann in den Apparat horizontal eingeschoben werden.

Die hier gegebenen Beschreibungen von Spiegelgalvanometern dürften genügen, um den Leser so weit zu unterrichten, dass er sich auch an abweichenden Constructionen zu orientiren vermag.

Universalgalvanometer von W. Siemens. Unter diesem Namen ist ein Messinstrument verbreitet, welches als eine Combination 143

eines Galvanometers mit der Wheatstone'schen Brücke betrachtet werden kann und sowohl zur Messung von elektromotorischen Kräften, als auch von Widerständen und Stromstärken bequem zu verwenden ist. Dasselbe besteht (Fig. 420 und 421) aus einer kreisförmigen Holzplatte

Fig. 420.

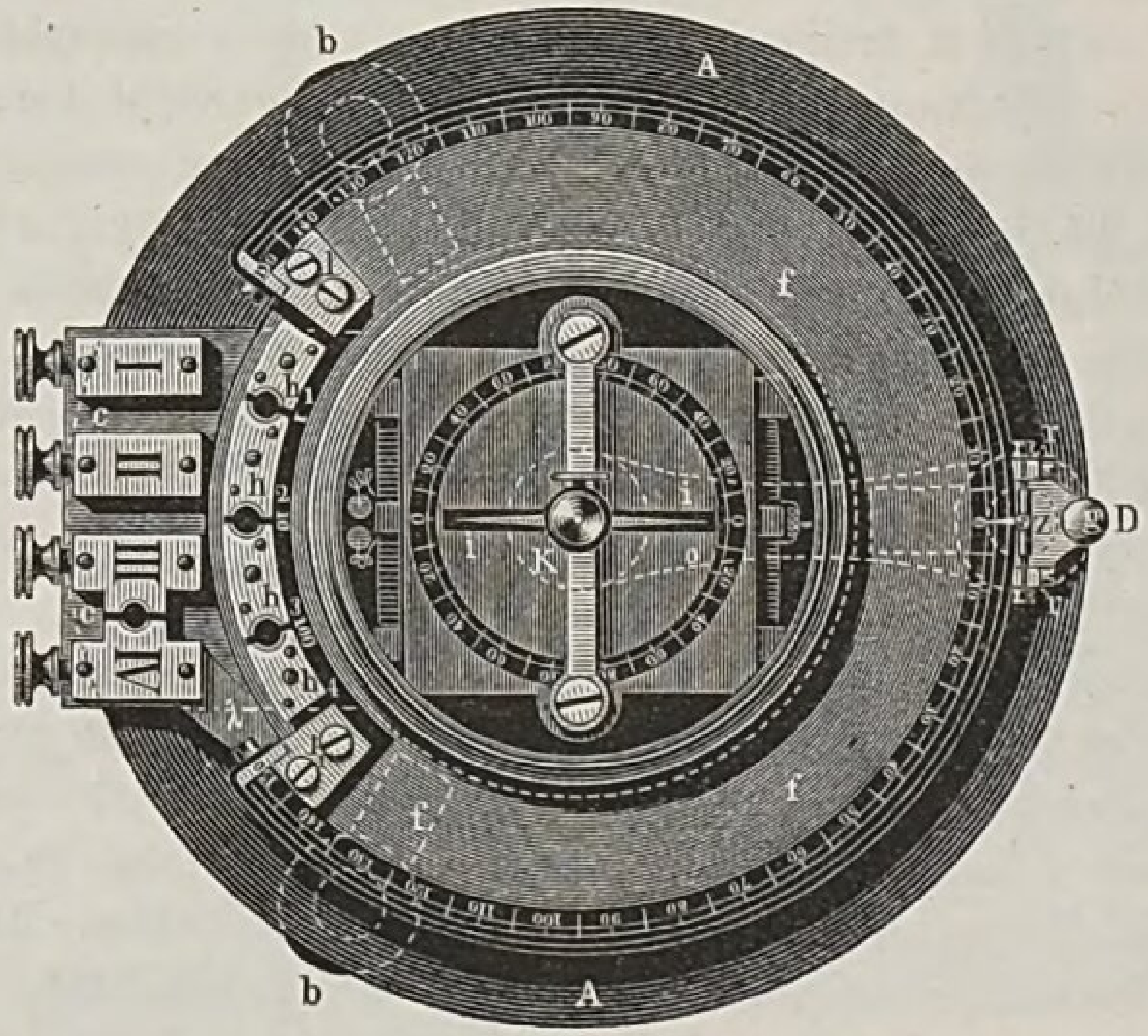
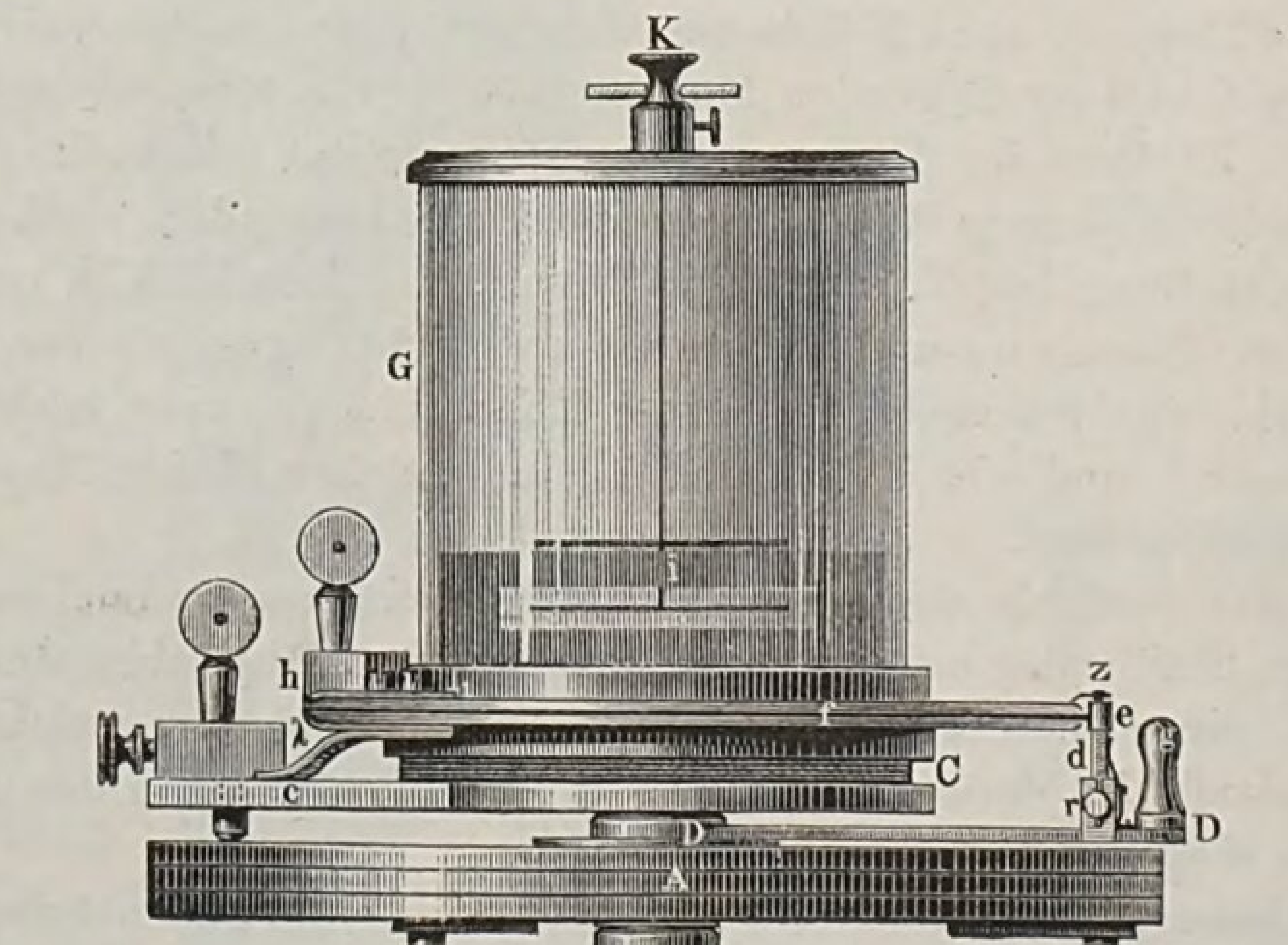
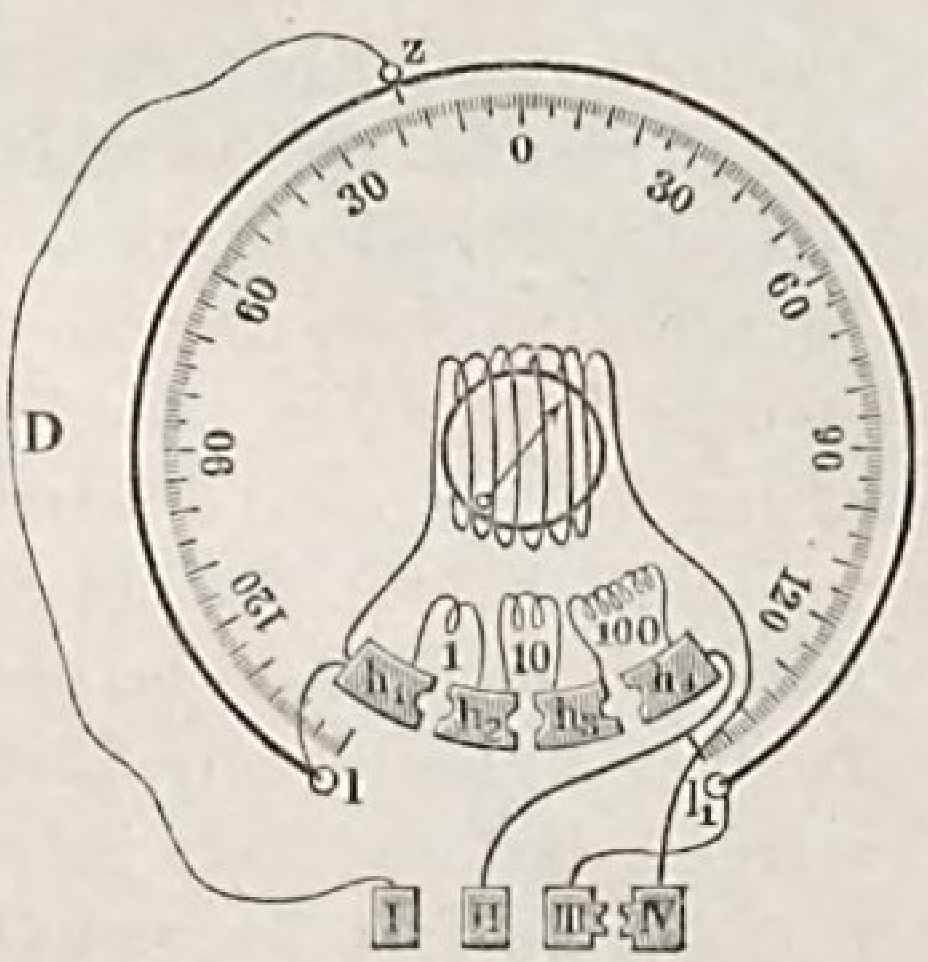


Fig. 421.



AA, in deren Mittelpunkt sich auf einem verticalen Zapfen eine ungefähr 2,5 cm dicke Holzscheibe C dreht, auf deren seitlichem Fortsatze c vier mit Klemmschrauben versehene Metallplatten I bis IV befestigt sind, von denen III und IV mittelst eines Metallstöpsels verbunden werden können. Auf der Holzscheibe ruht eine kreisrunde Schieferplatte f, welche über den Platten I bis IV ausgeschnitten ist und ein gewöhnliches Galvanometer mit einer an einem Coconfaden hängenden astatischen Nadel trägt, welche letztere durch einen kleinen Magnet compensirt werden kann, der an dem den Faden tragenden Knopfe k befestigt ist. Rechts und links, 20 Grade von der Nulllage entfernt, wird die Nadel durch Elfenbeinsäulchen aufgehalten. Die Drahtwindungen des Galvanometers haben einen Widerstand = 10 S. E. Am Rande der Schieferplatte befinden sich vier Metallplatten h_1 bis h_4, die durch Stöpsel verbunden werden können. Dieselben sind mit den Enden dreier Drahtspiralen von 1, 10 und 100 (oder auch 10, 100 und 1000) S. E. Widerstand verlöthet, so zwar, dass zwischen h_1 und h_2 der Widerstand 1, zwischen h_2 und h_3 der Widerstand 10, zwischen h_3 und h_4 der Widerstand 100 ein- und ausgeschaltet werden kann. Ausserdem ist h_4 mit Platte II, h_1 mit dem einen Ende des Galvanometerdrahtes, Platte IV mit dem anderen Ende des letzteren verbunden, wie Fig. 422 erkennen lässt.

Fig. 422.



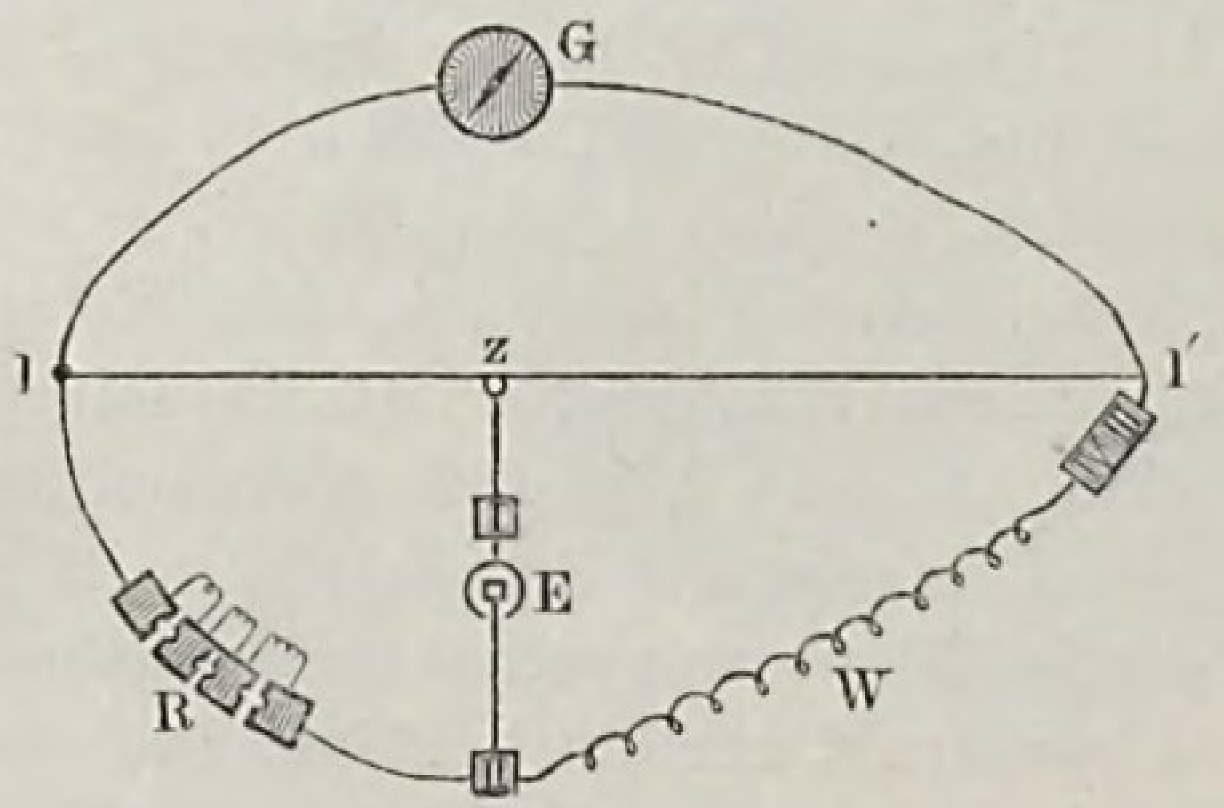
Am Umfange der Schieferplatte ist eine flache Rinne eingedreht, in welche ein Platindraht zur Hälfte seiner Dicke versenkt ist, dessen Enden an die Metallplatten l und l_1 angeschraubt sind. Von den letzteren ist l mit h_1, l_1 mit III durch dicke Kupferstreifen verbunden. Auf der Schiefertafel befindet sich eine Kreistheilung in Grade, welche den am Umfange eingelegten Draht von seiner Mitte aus nach beiden Seiten zu in je 150 gleiche Theile theilt.

Gegen den Draht wird durch eine Feder eine zwischen Spitzen laufende Rolle e aus Platin angedrückt, welche durch die Theile d, r an dem Arme D befestigt ist, welcher sich um den centralen Zapfen mittelst des Griffes g drehen lässt. Die jeweilige Stellung des Rollencontacts wird mittelst des Zeigers z am Theilkreise abgelesen. Der Arm, also auch die Rolle, ist mit der Platte I in leitender Verbindung.

Als Sinusbussole dient das Instrument, indem man die Platten II und IV mit den Polen verbindet und dann das Galvanometer so weit dreht, bis dessen Nadel auf Null steht. Die Drehung wird an der Theilung der Schieferplatte an dem Zeiger z, den man vorher auf 0^0 gestellt hat, abgelesen. Die zwischen h_1 und h_4 vorhandenen Widerstände können dabei nach Bedarf ein- oder ausgeschaltet werden.

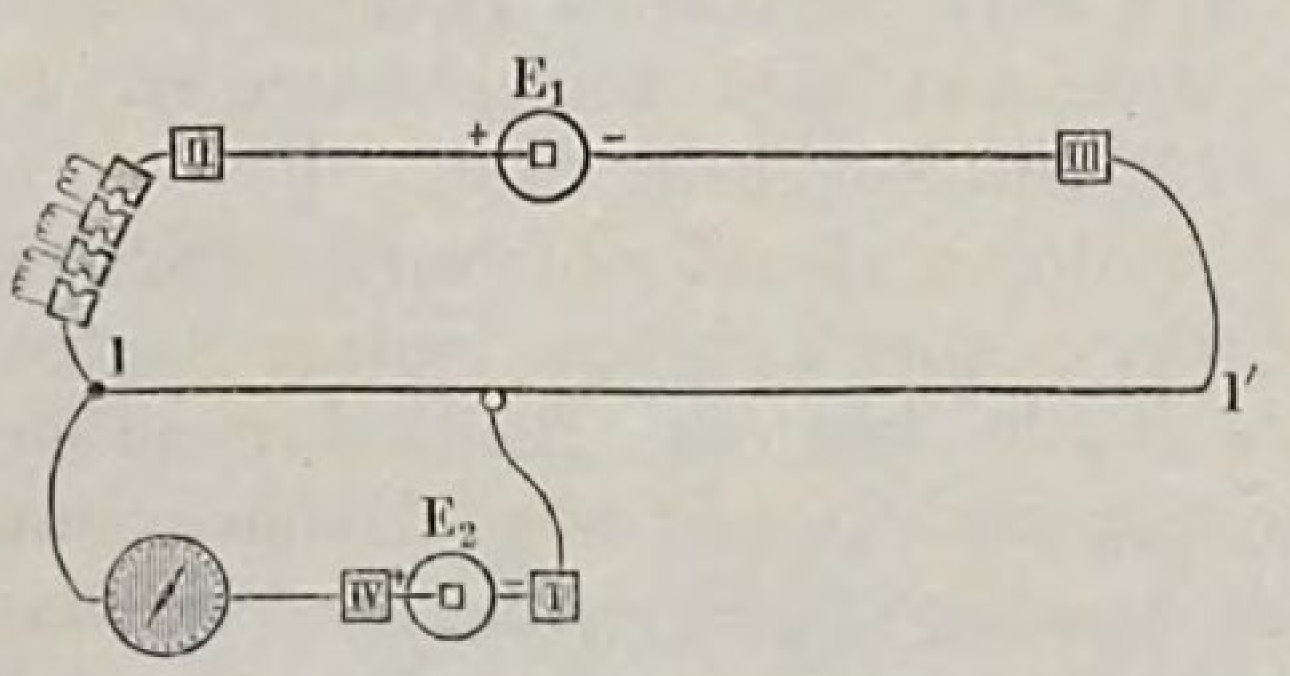
Als **Widerstandsmesser** nach der Methode der **Wheatstone'**schen Brücke dient das Universalgalvanometer, indem man die Platten I und II mit einem Elemente verbindet, den zu messenden Widerstand zwischen II und IV einschaltet, ferner den Stöpsel zwischen III und IV einsetzt. Zwischen h_1 und h_4 schaltet man dann jenen Widerstand ein, der dem zu messenden der Grösse nach am nächsten steht und stellt dann den Rollencontact so, dass kein Ausschlag erfolgt. Es verhält sich dann der zu messende Widerstand W zu dem Widerstande R zwischen h_1 und h_4, wie der Bogen $l_1 z$ zu dem Bogen $l z$. Dass dies sich so verhält, findet man leicht, wenn man zuerst das Schema der Fig. 422 unter Einschaltung des Elementes E und des Widerstandes W nach Fig. 423 umgestaltet, dann R mit $z l'$ vertauscht, was bekanntlich gestattet ist, worauf man durch eine einfache Umstellung auf die gewöhnliche Form der **Wheatstone'**schen Brücke gelangt. (§. 107, 108.)

Fig. 423.



Als **Compensator** nach **Dubois-Reymond's** Methode (Seite 353) dient das Instrument zur Vergleichung elektromotorischer Kräfte auf folgende Weise. Man entfernt den Stöpsel zwischen III und IV, setzt alle Stöpsel zwischen h_1 und h_4 ein, verbindet dann II und III mit den Polen eines constanten (stärkeren) Elementes E_1. Hierauf schaltet man nach einander zwischen I und IV die mit einander zu vergleichenden Elemente, deren elektromotorischen Kräfte E_2 und E'_2 seien, ein und zwar so, dass I und III gleichnamige Pole werden. Hat man dann jedesmal den Contact so gestellt, dass kein Ausschlag erfolgt, wobei die Zeigerstellungen z und z' waren, so gilt

Fig. 424.



$$E_2 : E'_2 = l z : l z'.$$

Zeichnet man sich nämlich die Verbindungen nach dem übersichtlichen Schema Fig. 424, so erkennt man darin sofort die Zusammenstellung, welche wir S. 353, Fig. 329 beschrieben haben, wobei das Stück $B' C$ dieser Figur dieselbe Rolle spielt, wie $l z$ in Fig. 424.

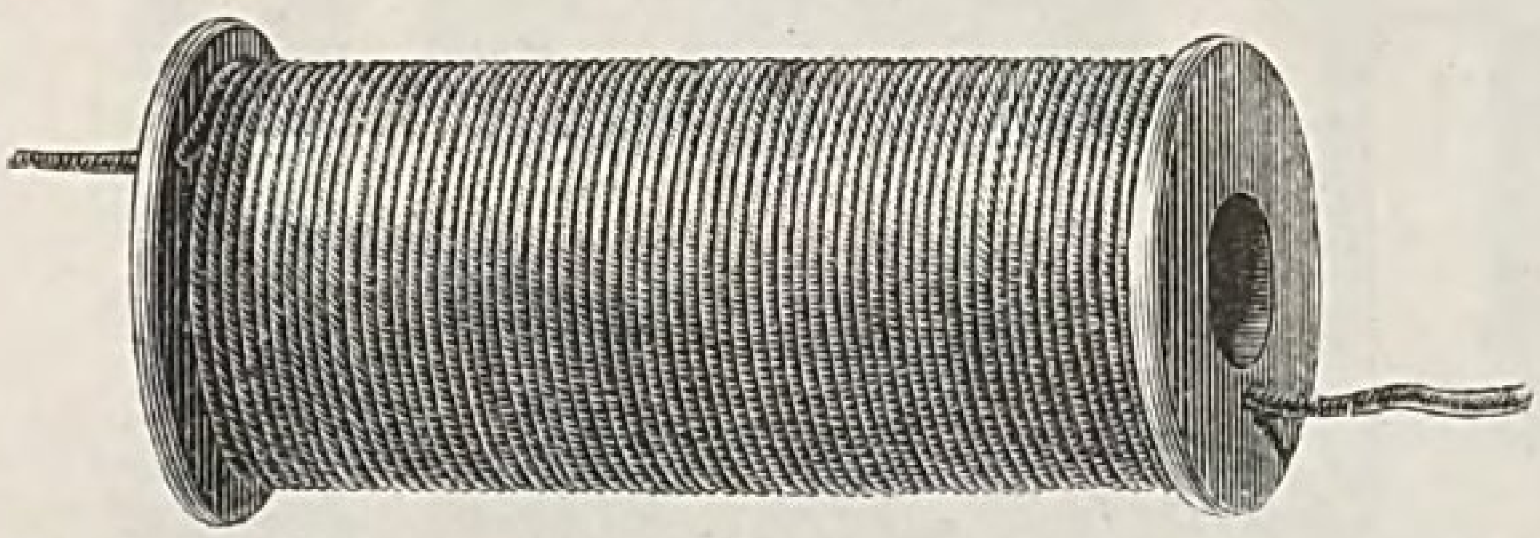
144 Magnetisirung des weichen Eisens durch den Strom.

Der elektrische Strom wirkt nicht allein richtend auf den freien Mag-

netismus, sondern er ist auch im Stande, magnetisirend auf weiches Eisen und Stahl zu wirken, was sich schon dadurch zeigt, dass ein von einem kräftigen Strom durchflossener Leitungsdraht Eisenfeile anzieht. — Um einen Eisenstab kräftig zu magnetisiren, muss man den Strom mehrfach um denselben herumführen, was dadurch geschieht, dass man den mit Seide oder Wolle übersponnenen Leitungsdraht spiralförmig um das Eisen herumwindet. Statt die Drahtwindungen direct auf dem Eisen anzubringen, ist es aber zweckmässiger, den Draht auf eine Spule von Holz (damit man die Spirale auch zu Inductionsversuchen anwenden kann) aufzuwinden und den zu magnetisirenden Eisenstab in die Höhlung derselben hineinzuschieben.

Fig. 425 stellt eine solche Magnetisirungsspirale dar. Man hat deren von sehr verschiedenen Grössen und Drahtdimensionen. Für sehr

Fig. 425.



kräftige Wirkungen werden Magnetisirungsspiralen angewandt, welche aus 800 bis 1000 Windungen eines 1 bis 2 mm dicken Kupferdrahtes bestehen, die natürlich in mehreren Lagen über einander liegen.

Schiebt man nun einen Eisenstab in eine solche Spirale hinein, so wird er magnetisch, sobald ein elektrischer Strom die Spirale durchläuft. Ein solcher temporär magnetisirter Stab wird Elektromagnet genannt. Ragen die Enden des Eisenstabes aus der Spirale hervor, so kann man Eisenstücke an dieselben anhängen. Sobald der Strom unterbrochen wird, fallen diese Eisenstücke ab, weil das weiche Eisen nur so lange kräftig magnetisch bleibt, als es dem magnetisirenden Einfluss ausgesetzt ist.

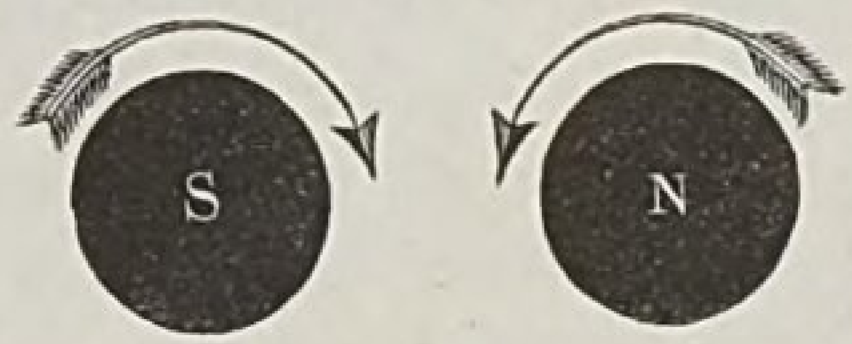
Was die Polarität der beiden Enden des Eisenstabes betrifft, so ist dieselbe nach den Bemerkungen auf S. 450 leicht zu bestimmen; dasjenige Ende, welches, dem Beschauer zugewendet, vom positiven Strom in der Richtung umkreist erscheint, in welcher sich der Zeiger einer Uhr dreht, ist der Südpol, d. h. derjenige Pol, welcher sich nach Süden richten würde, wenn der Elektromagnet sich frei in der Horizontalebene drehen könnte.

Fig. 426 dient, um das Gesetz der Polarität zu erläutern.

Wie den Stahlmagneten, so giebt man auch den Elektromagneten eine U-förmige Gestalt, wenn man eine grosse Tragkraft erzielen will. Um die Gesetze der Tragkraft solcher Elektromagnete zu untersuchen, wendet man am besten kleinere Eisen an. Fig. 427 stellt eine zweckmässige Aufstellungsart kleinerer U-förmiger Elektromagnete in ungefähr $\frac{1}{10}$ der natürlichen Grösse dar.

Auf die geradlinigen Schenkel sind die Magnetisirungsspiralen aufgeschoben, so dass man sie wegnehmen und auch zu anderen Zwecken benutzen kann, was auch für grössere Elektromagnete sehr zu empfehlen ist.

Fig. 426.



Ein solcher Elektromagnet von 1 cm Durchmesser erlangt eine Tragkraft von 10 kg, wenn auf jeden Schenkel eine Spirale von ungefähr 250 Windungen aufgeschoben ist und durch diese ein Strom geht, dessen Stärke = 17 ist.

Für manche Versuche, namentlich für die diamagnetischen, die wir weiter unten werden kennen lernen, ist es wünschenswerth, dass die

Fig. 427.

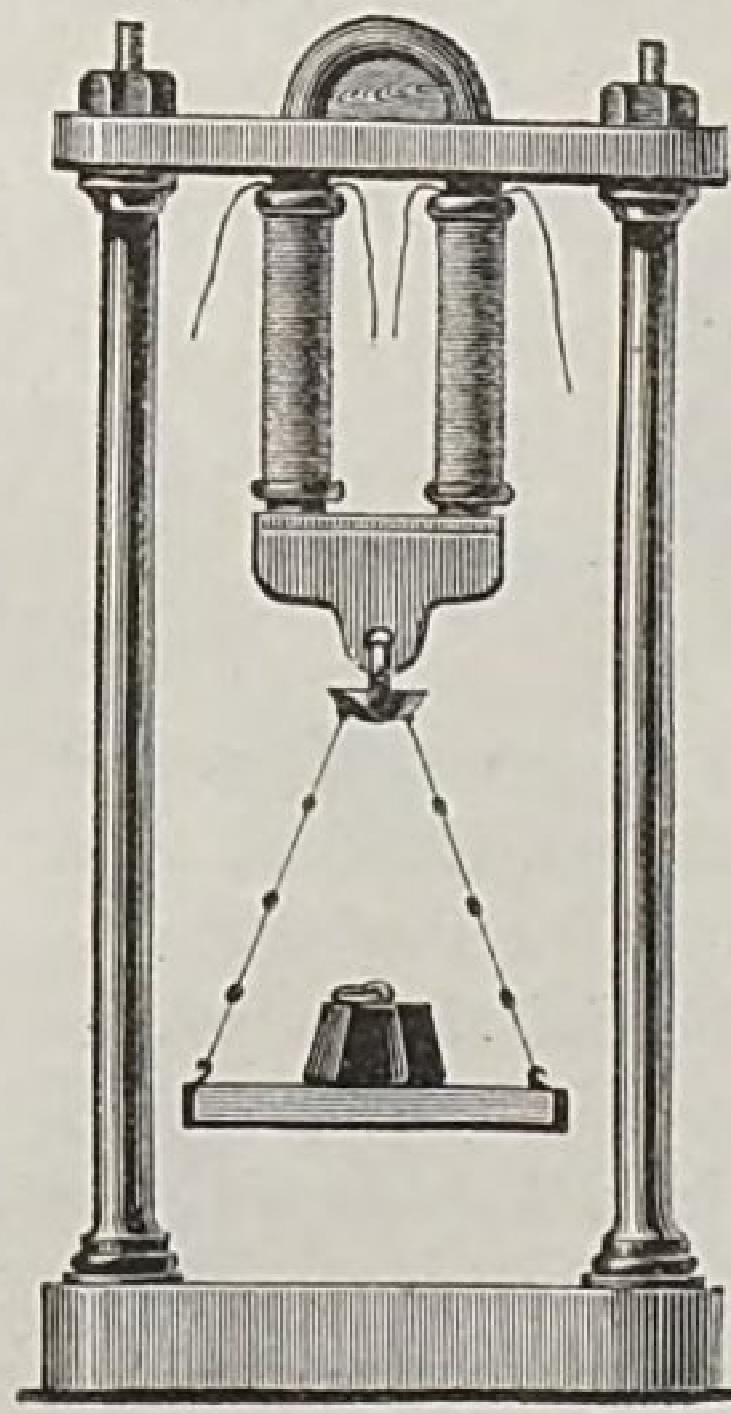


Fig. 428.

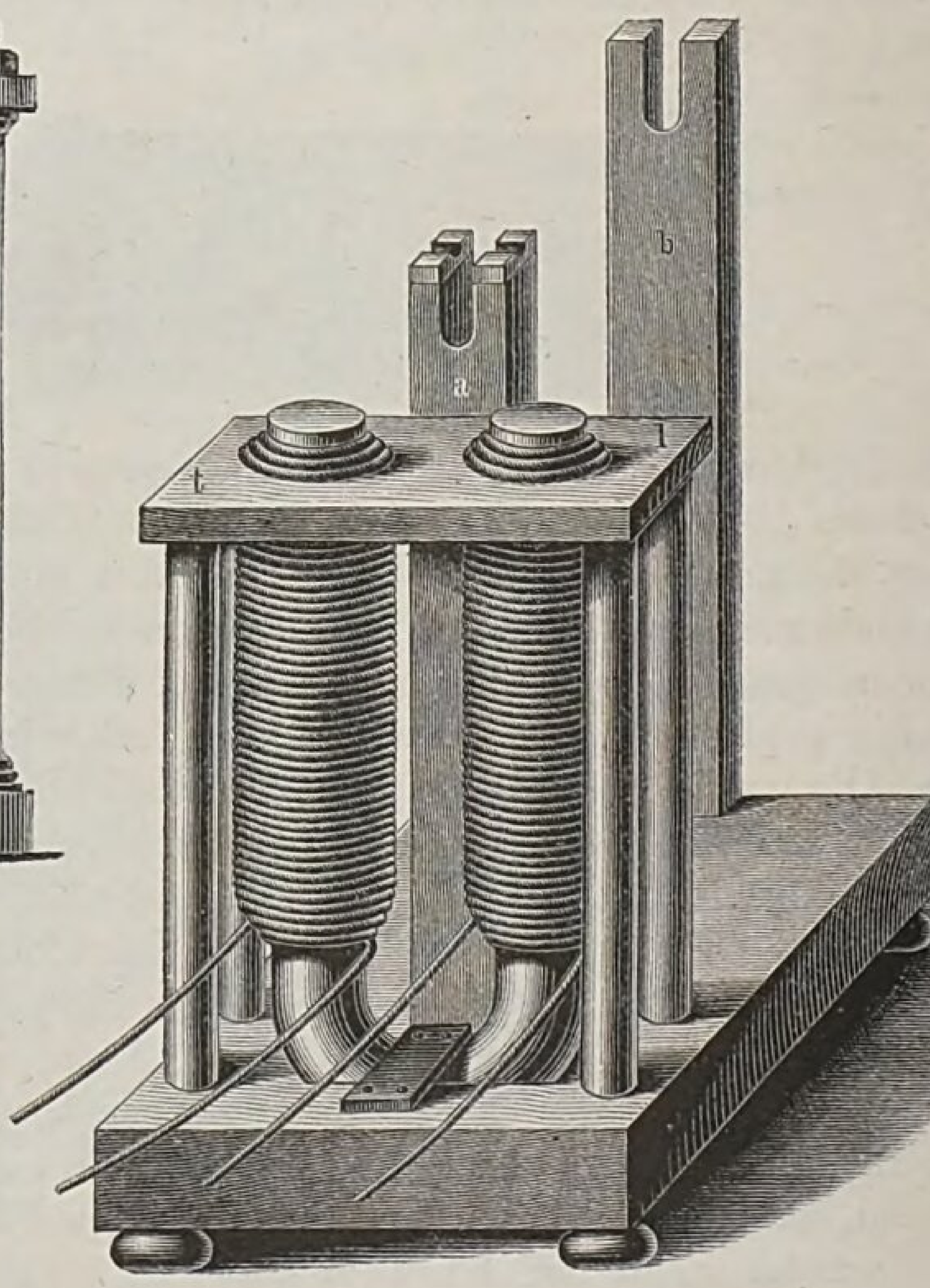
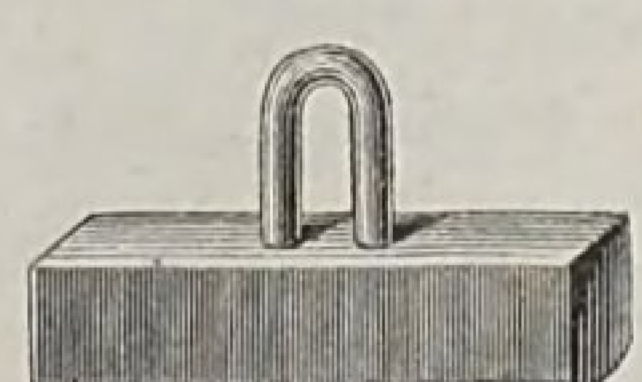


Fig. 429.



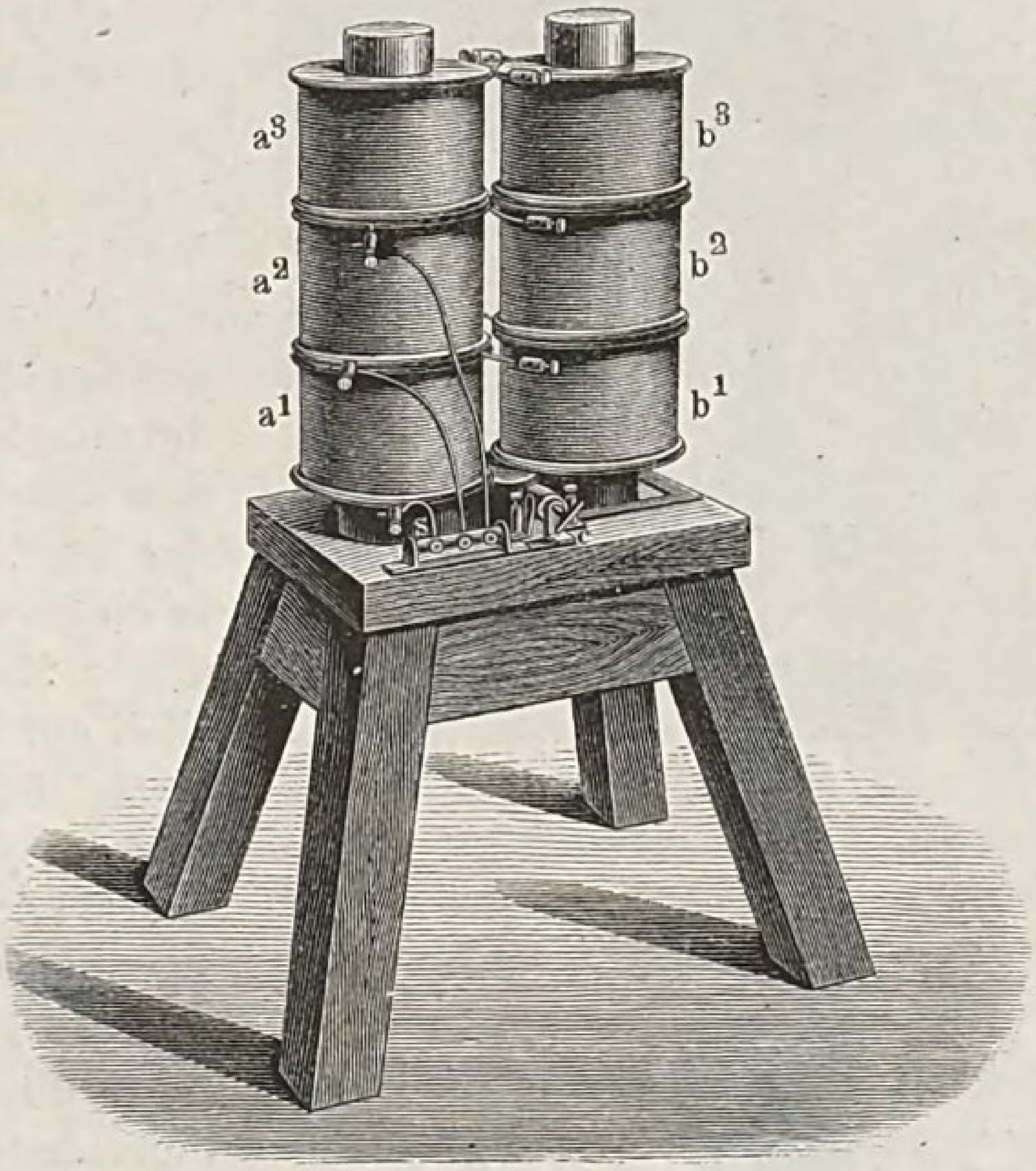
beiden Pole des Elektromagnets nach oben gerichtet sind. Eine für diesen Zweck geeignete Aufstellung des Elektromagnets ist Fig. 428 ungefähr in $\frac{1}{5}$ der natürlichen Grösse dargestellt.

Um die Tragkraft dieses Elektromagnets zu prüfen, setzt man auf die Pole einen Anker von der Form Fig. 429; in das Ohr desselben wird ein eiserner Hebel eingesetzt, dessen Schneide auf der Säule a ruht; am anderen Ende des Hebels werden entsprechende Gewichte angehängt.

Die Säule b dient, um den Hebel aufzufangen, wenn der Anker abgerissen wird.

Fig. 430 stellt einen noch grösseren, vollständig ausgerüsteten Elektromagneten dar. Die beiden Schenkel sind durch eiserne Cylinder von

Fig. 430.



40 cm Länge und 5 cm Durchmesser gebildet, welche auf einer sie verbindenden Eisenplatte von 4 cm Dicke befestigt sind.

Auf jeden der Eisenkerne sind drei Spulen aufgeschoben, deren jede 330 Windungen (11 Lagen von 30 Windungen) 3 mm dicken mit Wolle übersponnenen Kupferdrahtes trägt. Jedes Drahtende einer solchen Spule ist mit einer Klemmschraube versehen, so dass verschiedene Combinationen der Drahtspiralen möglich sind. Wenn man eine Säule von sechs grossen Zinkkohlenbechern als Stromquelle anwendet, ist die folgende Verbindungsweise die vortheilhafteste: die Klemmschrauben der inneren Drahtenden der Spiralen a_1, a_2 und a_3 sind durch kurze dicke Drähte mit dem Messingstäbchen s, und in gleicher Weise die Klemmschrauben der inneren Drahtenden von b_1, b_2 und b_3 mit einem ähnlichen Messingstäbchen s' verbunden, welches auf der Rückseite des Apparates angebracht ist, wie man in dem Grundriss, Fig. 431, ersieht. Alsdann sind die äusseren Drahtenden von a_1 und b_1, von a_2 und b_2, von a_3 und b_3 durch kurze dicke Kupferdrähte verbunden, wie man dies für a_3 und b_3 gleichfalls in Fig. 431 sieht.

Um nach Belieben den positiven Strom von s oder von s' aus in den Apparat eintreten zu lassen, so dass er ihn in der Richtung der

kleinen Pfeile, Fig. 431, oder in der entgegengesetzten durchläuft, dient ein Ruhmkorff'scher Commutator. Wir haben einen solchen schon in §. 92 abgebildet und beschrieben. Der hier (Fig. 431, 432 und 433) abgebildete ist ein wenig abweichend gebaut.

Fig. 431.

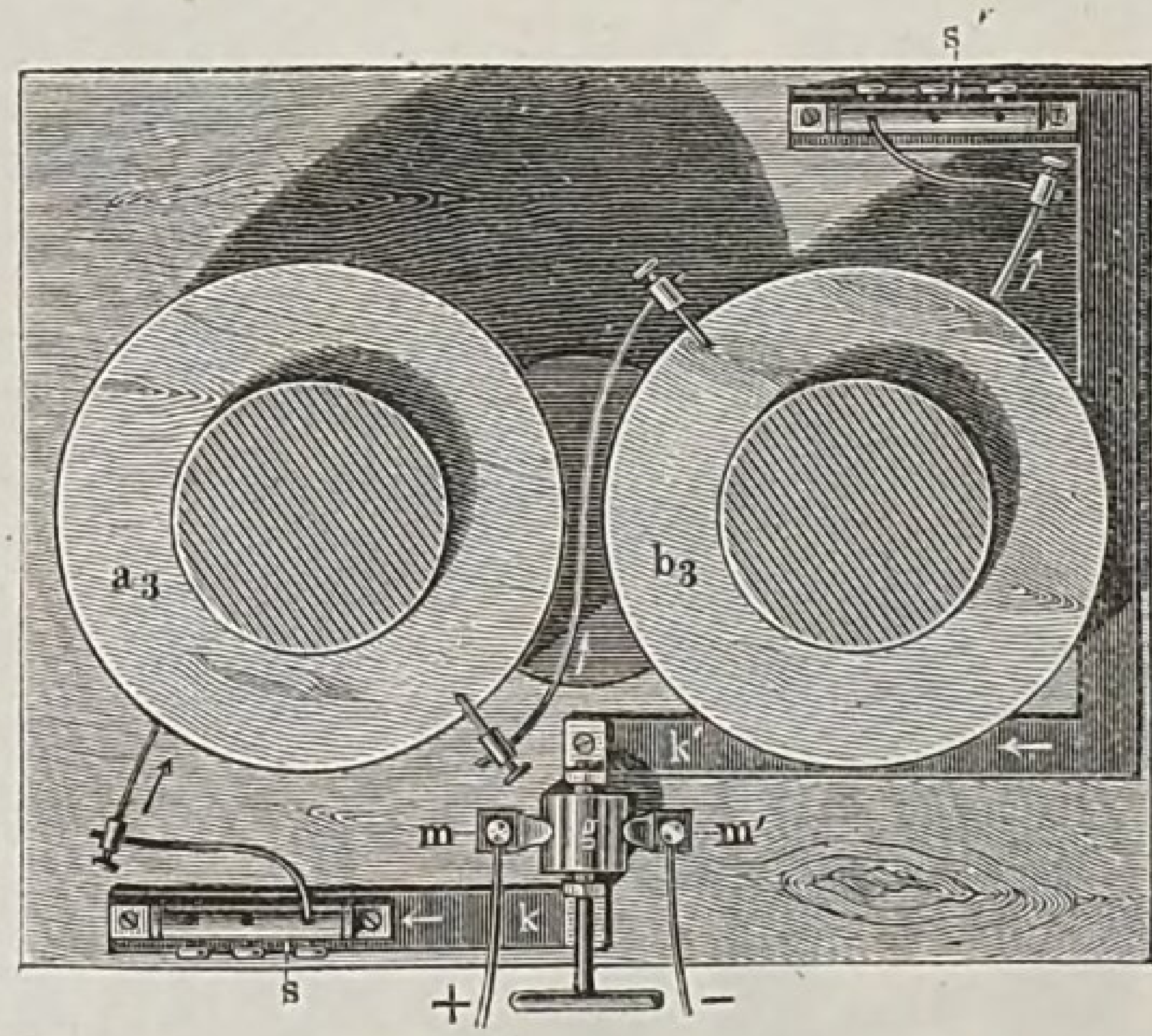


Fig. 432.

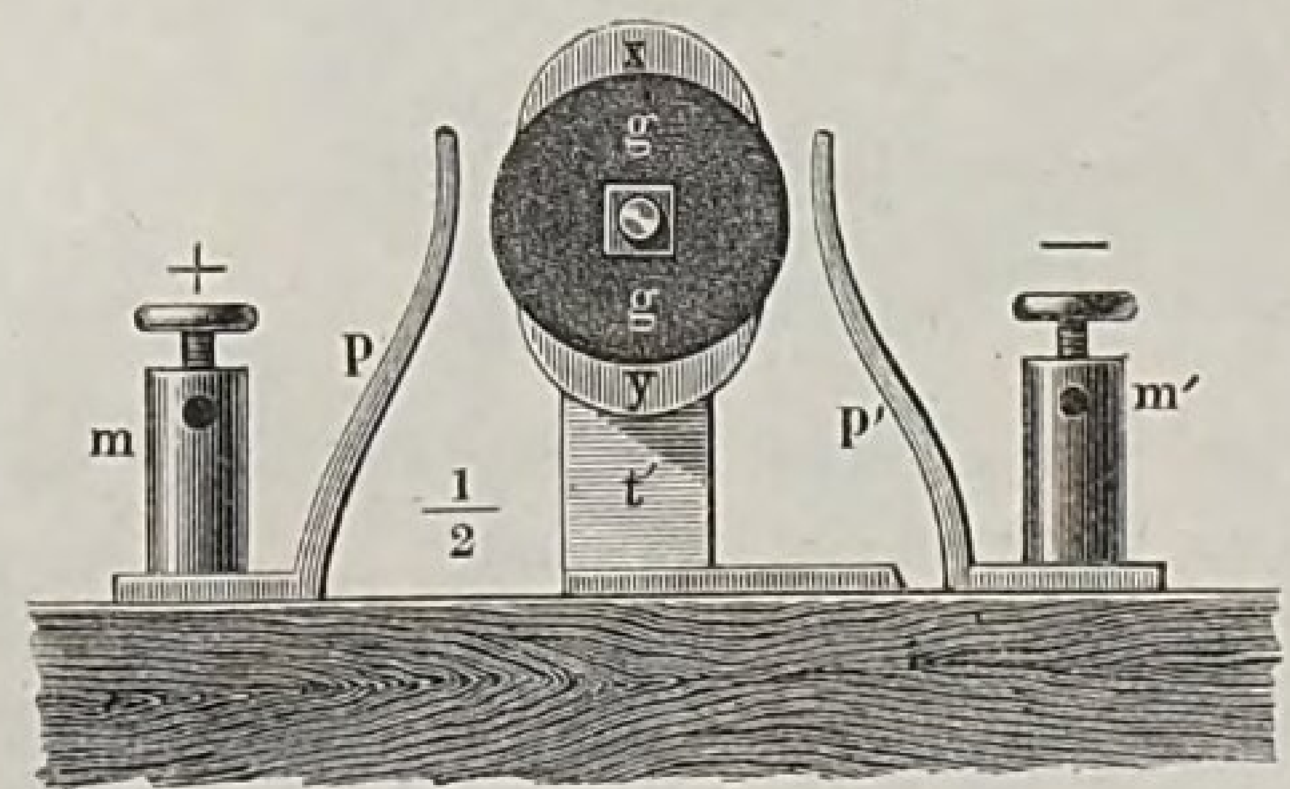
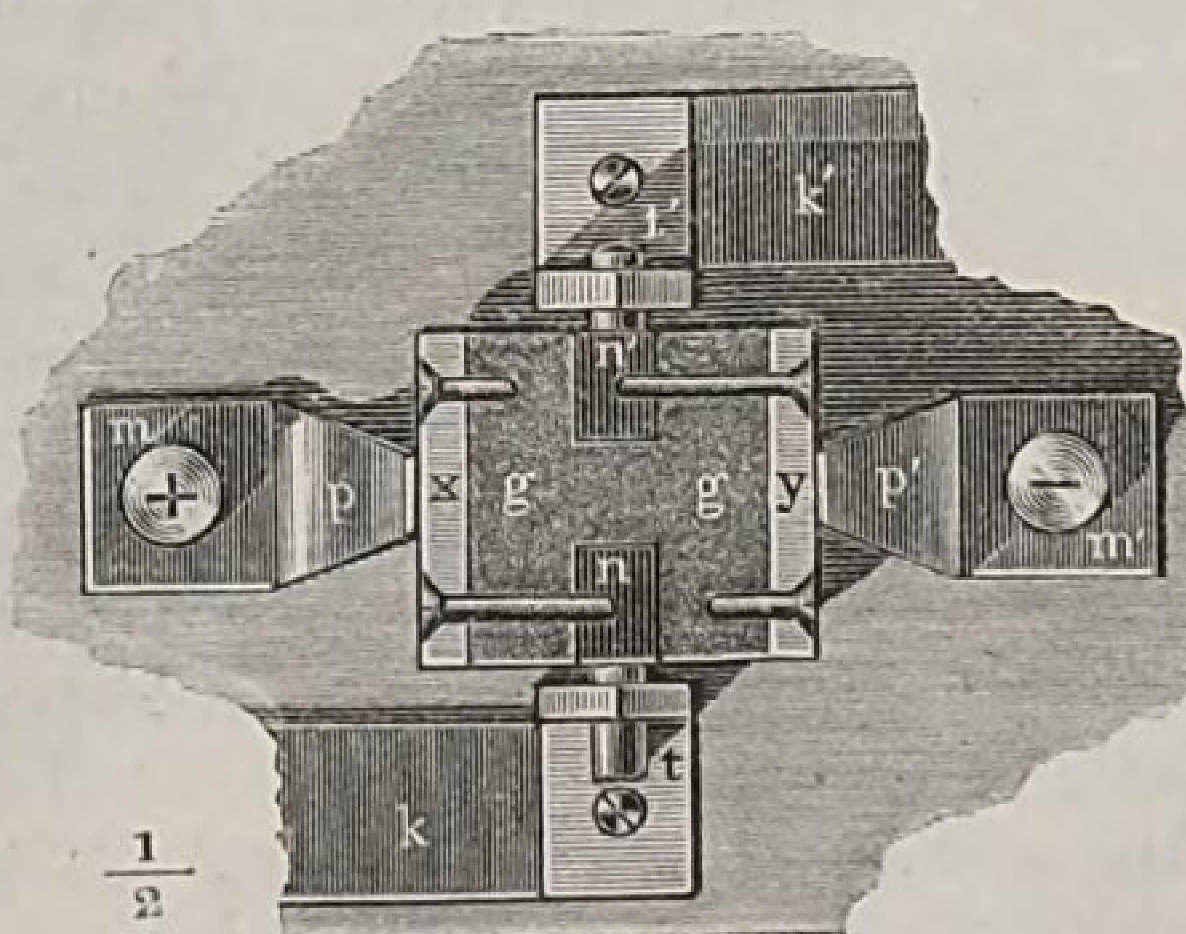


Fig. 433.



Der positive Pol der Volta'schen Säule, deren Strom die Windungen des Elektromagnets durchlaufen soll, ist in dem Messingsäulchen *m*, der negative Pol ist in *m'* eingeschraubt. Jedes dieser Messingsäulchen sitzt auf einer Kupferplatte fest. Die eine dieser Kupferplatten endet mit der kupfernen Feder *p*, die andere mit der Feder *p'*. Zwischen diesen Federn ist nun um eine horizontale Axe drehbar ein kurzer Cylinder *g*, von hartem Holz, gehärtetem Kautschuk oder einer anderen harten isolirenden Substanz, angebracht. Die Axe, um welche sich der Cylinder *g* dreht, wird durch zwei Eisenstäbe gebildet, welche von entgegengesetzter Seite her in die Masse von *g* eingelassen sind, ohne mit einander in Berührung zu treten. Die nach vorn aus *g* hervorragende eiserne Axe steckt in dem verticalen Theile des rechtwinklig gebo-

genen Messingstückes t, während der horizontale Theil desselben auf einem Kupferstreifen k aufgeschraubt ist, welcher weiter links das Messingstäbchen s trägt. In gleicher Weise steckt die nach hinten aus g vorragende eiserne Axe in dem Messingstück t', welches auf dem Kupferstreifen k' aufgeschraubt ist.

Auf der isolirenden Walze g sind nun ferner diametral gegenüberstehend die kupfernen Wülste x und y befestigt, und zwar jede durch zwei metallene Schrauben, von denen die eine kurz ist und nur in die isolirende Masse von g eindringt, während die andere bis in die eiserne Axe reicht. Auf diese Weise ist der Wulst x stets mit dem Eisenstücke n, mit dem Messingstücke t, mit k und s in leitender Verbindung, während andererseits der Wulst y stets mit n', t', k' und s' in leitender Verbindung steht.

Hat also die Commutatorwalze die Stellung wie in Fig. 433, so tritt der positive Strom von p über x, n, t, k und s in die Windungen des Elektromagnets ein; wird dagegen der Commutator um 180° gedreht, so dass der Wulst x mit der Feder p', y aber mit p in Berührung kommt, so circulirt der Strom in entgegengesetzter Richtung.

Stellt man die Commutatorwalze so, dass die Verbindungslinie der beiden Kupferwülste vertical steht, wie man Fig. 432 sieht, so sind die Federn p und p' nicht in Berührung mit den Kupferwülsten x und y, der Strom ist also unterbrochen.

Magnetisirung von Stahlstäben durch den Strom. Eben- 145
so wie man durch den galvanischen Strom im weichen Eisen einen vorübergehenden kräftigen Magnetismus erzeugen kann, ist man auch im Stande, mit Hülfe desselben Stahlmagnete von grosser Stärke hervorzubringen. Elias wandte zu diesem Zwecke zuerst eine nur 2·5 cm lange Drahtspirale an, welche aus einem ungefähr 7 m langen, 2 bis 3 mm dicken, wohl übersponnenen Kupferdraht gebildet war und 4 cm inneren Durchmesser hatte.

Während ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt, steckt man den zu magnetisirenden Stahlstab in die Rolle und bewegt ihn bis an die Enden einige Mal hin und her, und wenn er sich wieder mit seinem mittleren Theile in der Rolle befindet, wird die Kette geöffnet und dann der Stab magnetisirt herausgenommen.

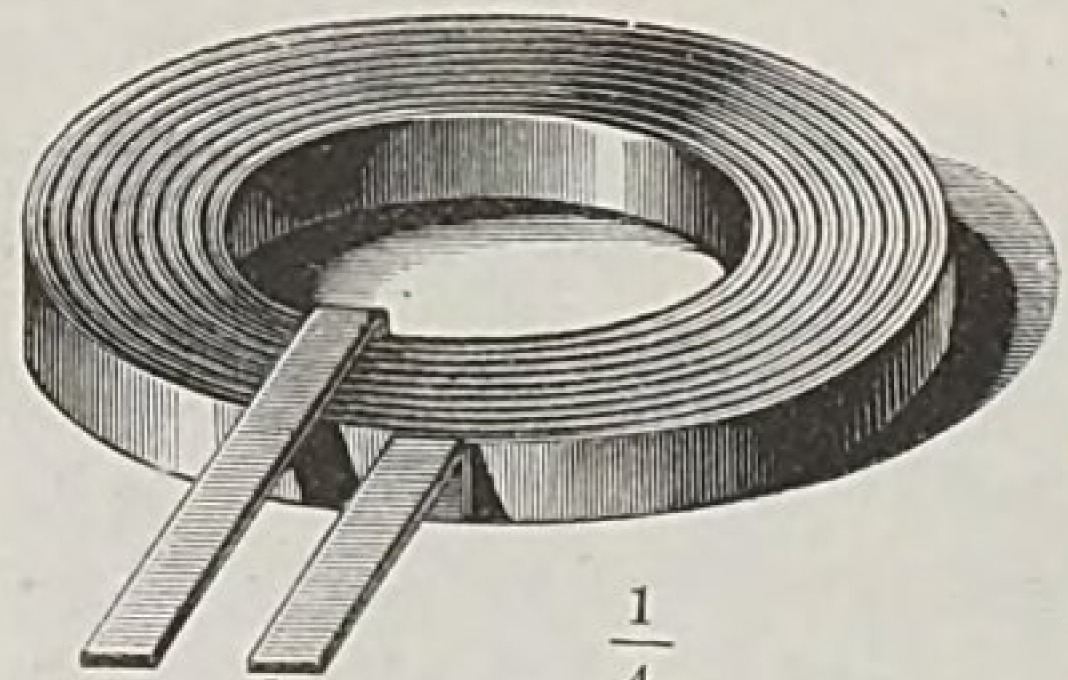
Es ist gut, den Stahlstab oben und unten mit einem Stück weichen Eisens und, wenn der zu magnetisirende Stab hufeisenförmig gebogen ist, ihn während der Operation mit einem Anker zu versehen.

Statt einer Drahtspirale kann man auch eine Bandspirale anwenden, deren Einrichtung durch Fig. 434 erläutert wird. Eine solche Spirale ist auch noch zu vielen anderen Versuchen brauchbar, von welchen später die Rede sein wird.

Solche Bandspiralen werden dadurch hergestellt, dass man einen langen Streifen von Kupferblech, welcher ungefähr $1\frac{1}{2}$ bis 2 cm breit

ist, gleichzeitig mit einem wollenen oder seidenen Bande aufwindet, welches etwas breiter ist als der Blechstreifen, und welches zur Isolirung einer jeden Blechlage von der folgenden dient.

Fig. 434.



Das rechtwinklig umgebogene Ende des Zuleitungsstreifens *b* ist an das äussere Ende der Blechwindungen angelöthet, und in gleicher Weise ist der Zuleitungsstreifen *a* mit dem inneren Ende der Windungen in Verbindung gebracht. Der grösseren Festigkeit wegen wird die ganze Spirale noch mit wollenem oder seidenem Bande umwickelt, so dass die einzelnen Windungen nicht mehr sichtbar sind. In unserer Zeichnung, in welcher überdies die Dicke des Blechs der Deutlichkeit wegen viel zu stark aufgetragen ist, fehlt diese Bandumwickelung.

Frick hat gezeigt, dass man mit Hülfe eines Elektromagnets, etwa eines solchen, wie der Fig. 428 abgebildete, weit kräftiger magnetisiren kann, als mit der Elias'schen Spirale, wenn man nicht sehr starke Ströme anwendet. Namentlich zeigt der Elektromagnet eine grosse Ueberlegenheit beim Magnetisiren sehr harter und dicker Stahlstäbe, für welche in der That der Elektromagnet das geeignetste Magnetisirungsmittel sein dürfte. Das Verfahren ist sehr einfach: Man streicht, in der Mitte anfangend, mit der einen Hälfte des zu magnetisirenden Stabes oder Hufeisens 10- bis 20 mal über den Nordpol, mit der anderen Hälfte eben so oft über den Südpol des Elektromagnets.

Natürlich wird die Hälfte der Stahllamelle der Nordpol, welche auf dem Südpol des Elektromagnets gestrichen wurde.

Durch die enorme magnetisirende Kraft der Elektromagnete ist es möglich geworden, die Coërcitivkraft der härtesten Stahllamellen zu überwinden, und dadurch sind die künstlichen in §. 5 besprochenen Magnetisirungsmethoden ziemlich überflüssig geworden.

146 **Gesetze des Elektromagnetismus.** Die magnetisirende Kraft einer Drahtspirale, wie wir sie oben kennen gelernt haben, hängt offenbar ab von der Anzahl ihrer Drahtwindungen und von der Stärke des Stromes, welcher dieselben durchläuft; wir wollen deshalb geradezu das Product, welches man erhält, wenn man die Stromstärke mit der Windungszahl multiplicirt, die magnetisirende Kraft der Spirale nennen.

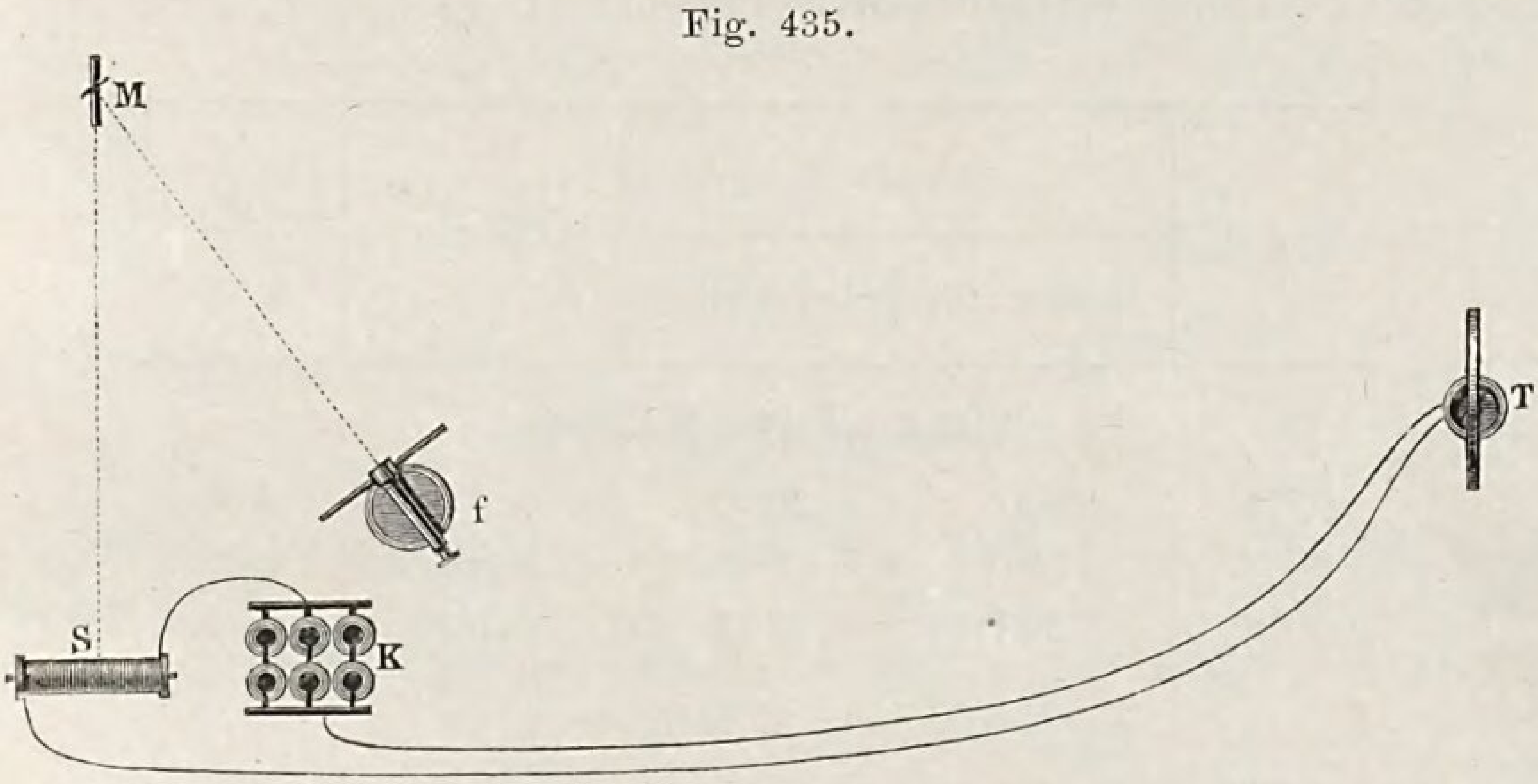
Lenz und Jacobi haben durch Versuche bewiesen, dass die Weite der Windungen ohne Einfluss auf die Stärke des erzielten Magnetismus in Eisenstäben ist, vorausgesetzt, dass die Enden des Eisenstabes weit genug auf beiden Seiten aus der Spirale hervorragen. Nur wenn das

Eisen nicht aus den Windungen hervorragt, ist die Wirkung der engen Windungen etwas stärker als die der weiten.

Dieselben Gelehrten haben gefunden, dass der Magnetismus eines Eisenstabes, welcher in einer Magnetisirungsspirale steckt, in demselben Verhältniss wächst wie der Strom, welcher die Spirale durchläuft. Sie wandten bei ihren Versuchen ziemlich dicke Stäbe und verhältnissmässig schwache Ströme an. Für dünnere Stäbe aber und stärkere Ströme findet die Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus nicht mehr statt; dies hat zuerst Joule bei einigen Versuchen über magnetische Anziehung beobachtet und J. Müller durch eingehende Untersuchungen nachgewiesen.

Die Anordnung derselben ist aus Fig. 435 zu ersehen. Der Strom einer, bald aus mehr bald aus weniger Zinkkohlenbechern zusammen-

Fig. 435.



gesetzten Säule K ging zunächst durch die Magnetisirungsspirale S und dann durch eine ungefähr 30 m weit von S entfernte Tangentenbussole T. Die Stromstärke war durch die an der Tangentenbussole hervorgebrachte Ablenkung bestimmt; die Stärke des Magnetismus, welcher in einem in die Spirale S eingeschlagenen Eisenstab erregt wird, wurde durch die Ablenkung des Magnetometers M gemessen.

Die Magnetisirungsspirale war im magnetischen Meridian des Magnetometers M aufgestellt, und zwar so, dass ihre Axe rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stand. Die Länge des von dem Drehpunkte des Magnetometers auf die Axe der Spirale gefällten Perpendikels betrug 217 cm. Die Scala, deren Spiegelbild durch das Fernrohr f beobachtet wurde, war 208 cm weit von der Drehungsaxe des Magnetometers entfernt.

Die Stromstärke s wurde bei den folgenden Versuchen gemessen durch die trigonometrische Tangente des Winkels, um welchen die Nadel der Tangentenbussole durch den Strom abgelenkt wurde. Derselbe Strom brachte, durch die Spirale S gehend, an dem Magnetometer M

eine Ablenkung von n Theilstrichen der Scala hervor; wurde dann bei unveränderter Stromstärke ein Eisenstab in die Spirale eingeschoben, so stieg die Ablenkung des Magnetometers auf v Theilstriche, für das magnetische Moment m des eingeschobenen Eisenstabes haben wir also $m = v - n$.

Nach diesen Bemerkungen wird die folgende Tabelle verständlich sein. Sie enthält in der ersten Verticalreihe unter s die trigonometrische Tangente der an der Tangentenbussole beobachteten Ablenkung, also die Stromstärke; in der zweiten Verticalreihe aber das in der angegebenen Weise durch die Magnetometerablesung ermittelte magnetische Moment des in die Spirale eingeschobenen Eisenstabes.

Die Länge der Spirale betrug 30, die der eingeschobenen Eisenstäbe 33 cm. Der Kupferdraht der Spirale war 2·8 mm dick und bildete 380 in fünf Lagen vertheilte Windungen.

s	m		Differenz	$\frac{m}{s}$
	beobachtet	berechnet		
		Stabdicke 44·5 Millimeter.		
0·785	20·41	20·06	− 0·35	25·6
0·344	8·80	8·81	+ 0·01	25·6
0·129	3·41	3·31	− 0·10	26·4
		Stabdicke 15 Millimeter.		
0·611	8·38	8·09	− 0·29	13·7
0·414	5·95	5·83	− 0·12	14·3
0·126	1·81	1·87	+ 0·06	15·0
		Stabdicke 6 Millimeter.		
0·871	2·56	2·91	+ 0·35	2·94
0·567	2·29	2·61	+ 0·32	4·04
0·382	2·45	2·27	+ 0·12	5·62
0·213	1·78	1·64	− 0·14	8·35
0·124	1·14	1·08	− 0·06	9·19

J. Müller hat das Verhältniss zwischen Stromstärke s und dem temporären Magnetismus m des Eisenstabes in der Magnetisirungsspirale durch eine Formel ausgedrückt, welche sich allen von ihm angestellten Beobachtungsreihen anschliesst. Diese Formel lautet

$$s = A\, d^{3/2}\, tang\, \frac{m}{B d^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn man mit d den Durchmesser des Eisenstabes, mit A und B aber constante Factoren bezeichnet, welche sich mit der Länge der Spiralen ändern. Für die Spirale, auf welche sich obige Tabelle bezieht, ist $A = 0{\cdot}016$ und $B = 0{\cdot}00108$. Nach der Gleichung

$$s = 0{\cdot}016\, d^{3/2}\, tang\, \frac{m}{0{\cdot}00108\, d^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

sind nun für die in der ersten Columne stehenden Werthe von s die zugehörigen Werthe von m berechnet und die Resultate erhalten worden, wie sie in der dritten Verticalreihe obiger Tabelle aufgeführt sind. Die so berechneten Werthe von m stimmen so gut mit den beobachteten überein, dass man wohl berechtigt ist, obige Gleichung für den empirischen Ausdruck des Gesetzes anzunehmen, nach welchem der temporäre Magnetismus eines Eisenstabes von der Stromstärke unter den gegebenen Verhältnissen abhängt, d. h. wenn der Eisenstab in einer Spirale eingeschoben ist, aus welcher er auf beiden Seiten etwas hervorragt.

A. v. Waltenhofen wandelte die Formel 1) um in

$$m = B\, d^2\, arc\, tg\, \frac{s}{A\, \partial^{3/2}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

und weiterhin in

$$y = \beta\, \gamma\, arc\, tg\, \frac{x}{\alpha\, \gamma^{3/4}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

indem er anstatt des Stabdurchmessers das leichter genau bestimmbare Stabgewicht γ einführte und anstatt der Grössen m und s die magnetischen Momente y und x des Stabes und der Spirale. α und β sind Constante.

1. Für $s = \infty$ ist $\frac{m}{B\, d^2} = 90^0$, also $m = 90\, .\, B\, d^2$; für eine unendliche Stromstärke würde demnach der Stabmagnetismus doch nur einen endlichen Werth erhalten; es giebt also für jeden Eisenstab ein absolutes Maximum des Magnetismus, und dieses magnetische Maximum ist dem Quadrate des Durchmessers, also dem Querschnitte des Stabes, proportional.

A. v. Waltenhofen hat ferner gezeigt, dass man sowohl aus theoretischen Gründen, als auch nach allen bisher vorliegenden Versuchen den Coëfficienten β in der Formel 4) als eine Constante betrachten müsse, die für alle Elektromagnete denselben Werth hat. Hieraus folgt, dass auch der Werth, welchen $\frac{y}{\gamma}$ für $x = \infty$ annimmt, nämlich $\frac{y}{\gamma} = 90\, \beta$, für alle Elektromagnete derselbe sein müsse. Dieses magnetische Maximum der Gewichtseinheit des Eisens beträgt in runder Zahl nahezu 2000 Gauss'sche Einheiten für jedes Milligramm, wobei zugleich ersichtlich ist, dass jedem Elektromagnet ein seinem Gewichte proportionaler Gränzwerth der Magnetisirung entspricht.

2. So lange $\frac{m}{0{\cdot}00108\, d^2}$ nur einem kleinen Winkelwerthe entspricht, sind s und m ziemlich nahe proportional, und man kann ohne merklichen Fehler

$$s = c \,.\, d^{3/2}\, \frac{m}{d^2}$$

setzen, wo c einen leicht zu ermittelnden constanten Factor bezeichnet; daraus ergiebt sich aber

$$m = \frac{s \,.\, \sqrt{d}}{c};$$

so weit man also den Stabmagnetismus der Stromstärke proportional setzen kann, ist der durch gleiche Ströme in verschiedenen Eisenstäben erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Stabdurchmesser proportional.

Diese Folgerung aus der Müller'schen Formel ist auch durch Versuche von Dub und von Domalip bestätigt worden.

Dabei ist jedoch zu bemerken, dass die hier angeführte Proportionalität zwischen Stabmagnetismus und Stromstärke innerhalb viel weiterer Gränzen Geltung hat, als dies vermöge der Müller'schen Formel der Fall sein könnte, wie schon aus den Versuchen von Lenz und Jacobi, Buff und Zamminer und von Dub hervorgeht. Aus diesen letzteren, sowie aus seinen eigenen zur Prüfung der Müller'schen Formel unternommenen zahlreichen Versuchen hat A. v. Waltenhofen den Nachweis geliefert, dass die besagte Proportionalität erst aufhört, wenn der durch fortgesetzte Verstärkung des magnetisirenden Stromes vermehrte Stabmagnetismus schon beinahe bis zur Hälfte des magnetischen Maximums gesteigert worden ist. Von diesem Sättigungsgrade angefangen gilt eigentlich erst die Müller'sche Formel [1) bis 4)].

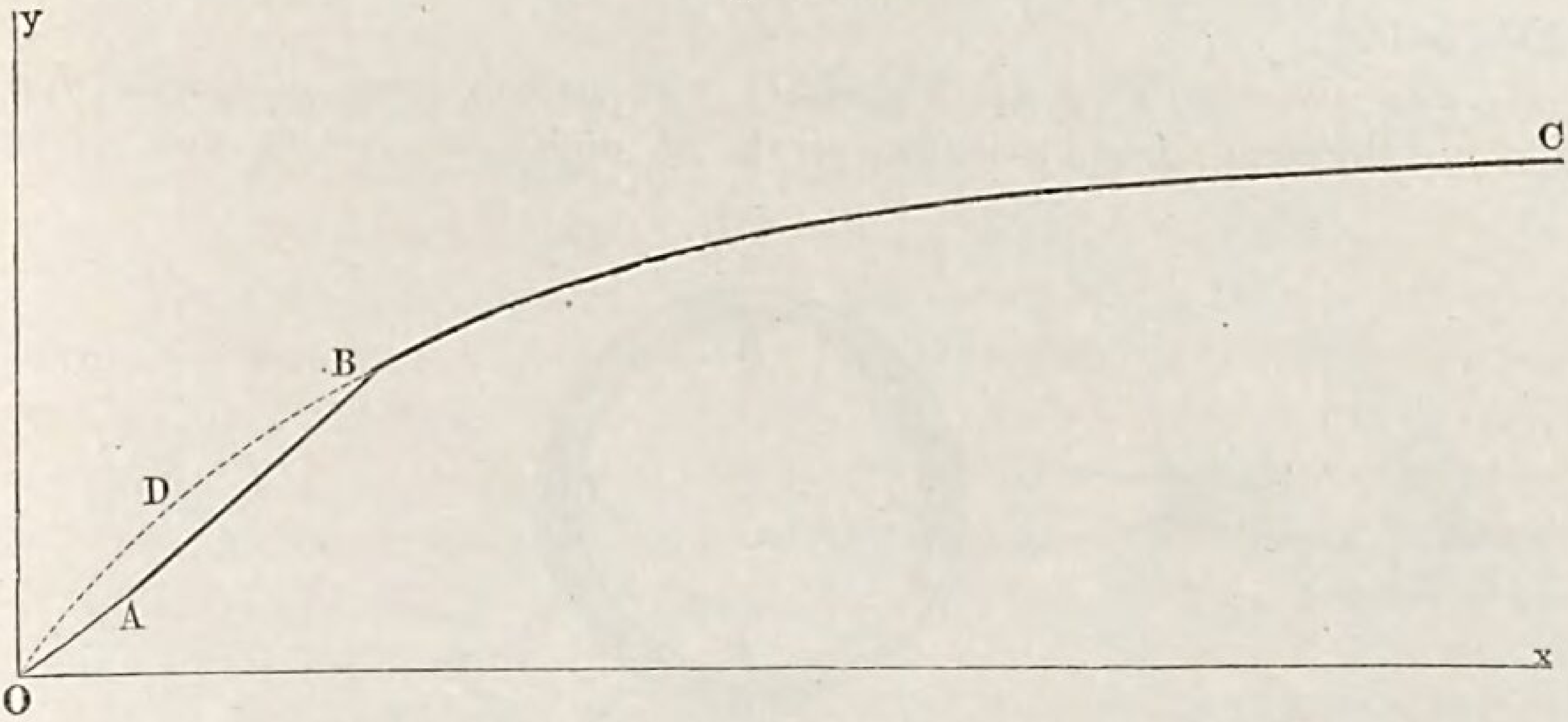
Eine kleine Abweichung von der Proportionalität zwischen Stabmagnetismus und Stromstärke — jedoch in einem der Müller'schen Formel entgegengesetzten Sinne — zeigt sich bei sehr geringen Sättigungsgraden, indem bei beginnender Magnetisirung der Magnetismus etwas rascher wächst als die Stromstärke.

Diese schon von Lenz wahrgenommene Anomalie ist durch die Versuche von Dub, Wiedemann, Quintus Icilius und v. Waltenhofen bereits vielfach bestätigt worden. Sie hat immer nur eine geringe Ausdehnung und ist bei dickeren Stäben weniger bemerkbar als bei dünneren.

Fasst man die soeben angeführten Gesetze kurz zusammen, so kann man sagen: Der Elektromagnetismus wächst anfangs etwas rascher als die magnetisirende Stromstärke, dann proportional mit derselben und bleibt hierauf, einem Maximum sich nähernd, immer weiter hinter derselben zurück.

Betrachtet man, um dieses Verhalten graphisch darzustellen, die magnetisirenden Stromstärken als Abscissen und die Momente des erregten Stabmagnetismus als Ordinaten, so erhält man für jeden Stab eine Curve ($OABC$), welche (wie Fig. 436) anfangs gegen die

Fig. 436.



Abscissenaxe convex (OA), dann merklich geradlinig (AB), weiterhin concav (BC) und endlich mit der Abscissenaxe parallel verläuft.

Der Müller'schen Formel würde eine durchaus concave Curve $ODBC$ entsprechen, dem Lenz-Jacobi'schen Proportionalitätsgesetze aber eine Gerade, nämlich AB und deren Verlängerung über B hinaus.

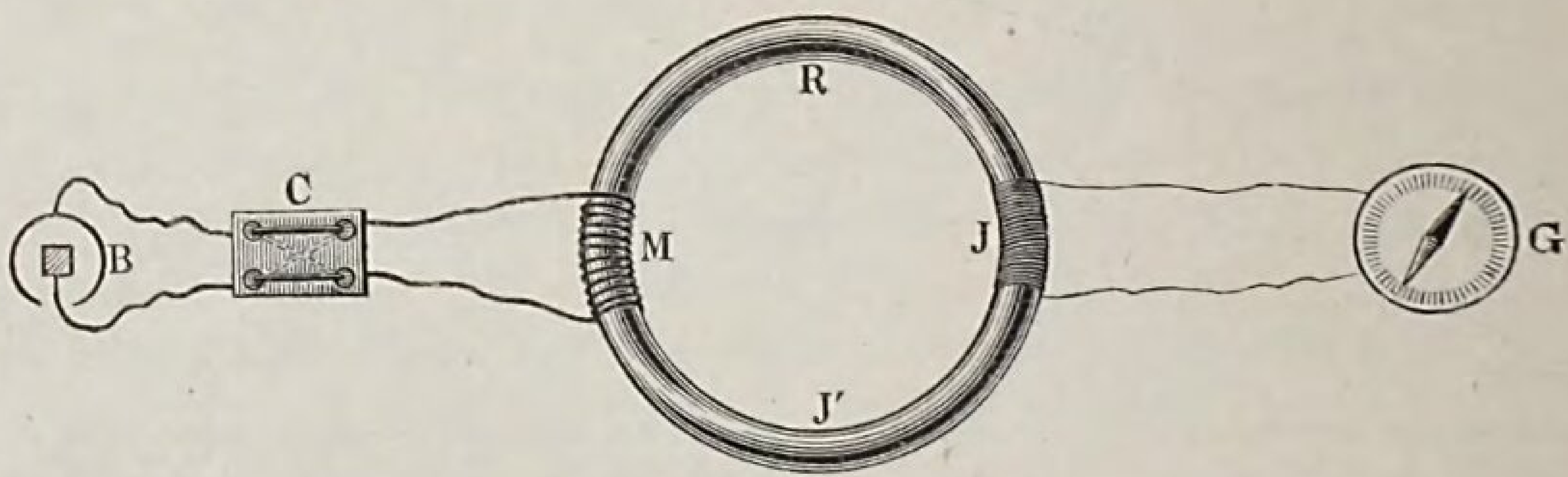
Die angeführten Thatsachen finden eine ungezwungene Erklärung durch die Theorie der drehbaren Molecularmagnete, deren Grundzüge wir in den §§. 8 und 9 gegeben haben. Hält man die daselbst entwickelten Vorstellungen fest, so ist klar, dass der in einem Eisenstücke hervorgerufene Magnetismus nicht bloss von der directen Einwirkung des magnetisirenden Stromes herrühren muss, sondern zum Theil auch durch die Wechselwirkung der magnetischen Molecüle unter sich herrühren kann. Ob diese letztere Wirkung überhaupt nachweisbar oder beträchtlich ist, kann allerdings nur auf Grundlage von Thatsachen beantwortet werden. Hierher gehören die Versuche, welche v. Waltenhofen mit pulverförmigem Eisen und A. Oberbeck mit einem ringförmigen Elektromagneten angestellt hat. Bei den ersteren hat sich gezeigt, dass pulverförmiges Eisen in einer cylindrischen Glasröhre in eine Magnetisirungsspirale eingeführt, einen vielmal (5- bis 9mal) geringeren Magnetismus annimmt, als bei gleicher Stromstärke in einer zusammenhängenden Eisenmasse von gleichem Gewichte der Fall sein würde. Bei schwächeren Strömen zeigt sich dies noch auffallender als bei stärkeren. v. Waltenhofen erklärt diese Erscheinung durch den Umstand, dass durch die Zertheilung des Eisens in kleine Partikel jene Wechselwirkung der längs der Axe des Cylinders benachbarten magnetischen Molecüle, welche in der cohärenten Masse die magnetisirende Wirkung

des Stromes verstärkt, grösstentheils aufgehoben ist und gelangt zu dem Schlusse, dass das magnetische Moment, welches ein Eisenstab in einer Magnetisirungsspirale annimmt, sogar grösstentheils von der magnetischen Wechselwirkung seiner Molecüle herrührt.

Der Versuch von A. Oberbeck mit dem Ringmagnet bestand in Folgendem:

Ein eiserner Ring *R* (Fig. 437) war umschlossen einerseits von einer schmalen Magnetisirungsspirale *M* und andererseits von einer

Fig. 437.



Inductionsspirale *J*. In ersterer konnte der von einer Batterie *B* herrührende Strom mittelst eines Commutators *C* umgekehrt werden. Der dadurch in der Inductionsspirale *J* inducirte Strom, an einem Galvanometer *G* gemessen, gestattete eine Vergleichung der magnetischen Erregung des Ringes an verschiedenen Stellen. Es zeigte sich nun, dass es einen verhältnissmässig geringen Unterschied machte, ob die Spirale *J* dicht neben der Spirale *M*, oder, wie in der Zeichnung, möglichst weit davon entfernt, oder endlich an einer beliebigen anderen Stelle *J′* sich befand. Die hierdurch constatirte, in allen Querschnitten des Ringes wenig verschiedene magnetische Erregung kann unmöglich von der directen Einwirkung des Stromes allein herrühren, sondern muss grösstentheils durch die besagte moleculare Wechselwirkung bedingt sein.

Auch die von Lenz beobachtete rasche Zunahme des Magnetismus bei beginnender Magnetisirung, von welcher oben die Rede war, gehört hierher.

147 **Elektromagnetisches Verhalten des Stahles. Remanenter Magnetismus.** In ihrem Verhalten gegen den magnetisirenden Einfluss der durchströmten Spirale zeigen weiches Eisen und harter Stahl ganz ähnliche Verschiedenheiten, wie die, welche in §. 4 besprochen wurden. Dies erhellt schon aus einigen Versuchen, welche J. Müller mit ungleich harten (16·1 cm langen und 6 mm dicken) Eisen- und Stahlstäben angestellt hat und deren Ergebnisse die nachstehende Tabelle übersichtlich macht. In derselben bedeutet *m* den temporären (d. h. während der Einwirkung des magnetisirenden Stromes beobachteten) und *r* den sogenannten remanenten Magnetismus, nämlich den-

jenigen, mit welchem sich der untersuchte Stab nach der Unterbrechung des magnetisirenden Stromes noch behaftet zeigte.

	m	r	$\frac{r}{m}$
Schmiedeeisen	0·499	0	0
Ausgeglühter Stahl . . .	0·437	0·061	0·14
Angelassener Stahl . . .	0·437	0·123	0·28
Gehärteter Stahl	0·248	0·158	0·55
Gusseisen	0·246	0·017	0·06

Wir sehen nun aus dieser Tabelle:

1. dass bei gleicher magnetisirender Kraft der temporäre Magnetismus des Eisenstabes viel bedeutender ist als der des gehärteten Stahlstabes, dass dagegen

2. der remanente Magnetismus des Stahlstabes sehr bedeutend (55 Proc. des temporären), für den Stab aus weichem Eisen aber gleich Null ist.

Beziehungen zwischen Magnetismus und Stromstärke sind bei diesen Versuchen nicht ermittelt worden; v. Waltenhofen fand solche auch für den Stahl und zwar bei dünnen Stäben und bis zu nicht sehr starken Magnetisirungen entsprechend der Formel

$$y = C\partial^{3/2}\, x^{4/3},$$

wobei x die magnetisirende Stromstärke, y den Stabmagnetismus und ∂ den Stabdurchmesser bedeutet, während C nur von der Beschaffenheit der Stahlsorte abhängt und mit zunehmender Härte des Stahles abnimmt.

Bei stärkeren Magnetisirungen, wie sie jedoch nur bei weichen und dünnen Stahlstäben erreichbar sind, nähert sich auch der im Stahl erregte Magnetismus einem Gränzwerthe.

Als erreichbaren Gränzwerth des remanenten Magnetismus kann nach W. Weber bei den stärksten Stahlmagneten der Betrag von etwa 400 Gauss'schen Einheiten per Milligramm angenommen werden. v. Waltenhofen magnetisirte glasharten Wolframstahl bis zu 470 und Schneebeli englische Nähnadeln bis zu 850, dünne Stricknadeln sogar bis zu 1060 Einheiten. Man nennt das auf die Gewichtseinheit eines Stabes reducirte magnetische Moment den specifischen Magnetismus des Stabes. Bei gewöhnlichen Magnetstäben ist dasselbe meist viel kleiner als 400.

Bemerkenswerthe Eigenthümlichkeiten hinsichtlich der Coërcitivkraft sind am Magneteisenstein beobachtet worden. A. L. Holz verglich das elektromagnetische Verhalten dieses Minerals mit jenem des Stahles, indem er Stahlstücke von gleicher Form und Grösse wie die unter-

suchten Stücke von Magneteisenstein dem Versuche unterwarf. Er fand, dass der temporäre Magnetismus des Minerals kleiner ist als bei glashartem Stahl, dass aber nach dem Aufhören der magnetisirenden Kraft der letztere mehr Magnetismus verliert als ersteres. In der That ist der im Magneteisenstein auftretende remanente specifische Magnetismus der grösste aller bisher untersuchten magnetischen Körper. Diese Ueberlegenheit über den Stahl nimmt jedoch bei den stärksten Magnetisirungen wieder ab und nähert sich der Gleichheit.

Was den remanenten Magnetismus im Eisen betrifft, so ist bereits bemerkt worden, dass derselbe keineswegs immer = 0 ist, wie bei den oben S. 487 angeführten Versuchen von J. Müller. In der Regel beobachtet man auch in den weichsten Eisensorten einen magnetischen Rückstand, der freilich oft nur mit Hülfe von feineren Instrumenten nachweisbar ist.

Aus dem reichen Materiale von Thatsachen, welches die bisherigen Untersuchungen über den remanenten Magnetismus geliefert haben, mögen hier nur zwei Gesetze erwähnt werden, welche einerseits wegen ihrer Allgemeinheit und andererseits wegen ihres Zusammenhanges mit der Theorie der Molecularmagnete von Wichtigkeit sind.

1. Der remanente Magnetismus im weichen Eisen fällt, wie v. Waltenhofen zuerst beobachtet hat, auffallend grösser aus, wenn der magnetisirende Strom nicht, wie es gewöhnlich geschieht, plötzlich unterbrochen, sondern allmälig (durch Einschaltung von immer grösseren Widerständen) auf Null reducirt wird. Bei plötzlicher Stromunterbrechung hat v. Waltenhofen in dicken Stäben von sehr weichem Eisen manchmal sogar negative magnetische Rückstände („anomale Magnetisirung") beobachtet. Die erstere Thatsache ist seither auch von Fromme u. A. vielfach bestätigt. Die anomale Magnetisirung tritt selten auf, ist aber von Ruths auch schon wiederholt beobachtet worden.

Beide Erscheinungen finden in der Theorie der Molecularmagnete eine ungezwungene Erklärung, wenn man annimmt, dass bei der Bewegung der Molecularmagnete neben der Tendenz, in die ursprünglichen Gleichgewichtslagen zurückzukehren, auch ein gewisser Reibungswiderstand stattfindet. Dieser letztere wird bei langsamem Nachlassen und Aufhören der magnetisirenden Kraft den völligen Rückgang der Molecüle hindern; beim plötzlichen Aufhören der magnetisirenden Kraft aber werden die Molecüle, vermöge der grösseren, lebendigen Kraft ihrer rückgängigen Bewegung, ihren ursprünglichen Gleichgewichtslagen näher kommen oder dieselben sogar überschreiten und jenseits derselben zur Ruhe kommen.

2. Ein zweites hierher gehöriges Gesetz ist das folgende, von Ruths durch zahlreiche Versuche constatirte: Der remanente Magnetismus fällt desto grösser aus, je „gestreckter" die Form des Elektromagneten ist, d. h. je kleiner z. B. bei einem cylindrischen Stabe der Durchmesser im Vergleiche mit der Länge ist. So erklärt sich z. B. auch

der starke remanente Magnetismus von Blitzableitern, Fenstergittern etc. in Folge erdmagnetischer Einwirkung. Die theoretische Begründung dieses Gesetzes führt auch wieder auf die bereits erwähnte Wechselwirkung zurück, welche die magnetischen Molecüle in der Richtung der Axe des Stabes auf einander ausüben.

Anziehung und Tragkraft der Elektromagnete. Das 148
Gewicht, welches ein Magnet vermöge seiner Fähigkeit, weiches Eisen anzuziehen und festzuhalten, zu tragen vermag, bezeichnet man bekanntlich als dessen „Tragkraft". Trifft man jedoch eine solche Anordnung, dass der Anker dem Magneten nicht bis zur unmittelbaren Berührung genähert werden kann, so nennt man die Kraft, mit welcher derselbe in einem gewissen Abstande von den Polflächen des Magneten festgehalten wird, als die diesem Abstande entsprechende „Anziehung". Beide Wirkungen sind nicht nur von der magnetisirenden Kraft, sondern auch von der Form und Grösse der Elektromagnete und der Anker abhängig. Betrachtet man jedoch die Wechselwirkung, welche zwischen einem bestimmten Magnet und einem bestimmten Anker stattfindet, so lässt sich die Abhängigkeit der Anziehung von der magnetisirenden Stromstärke auf ein ziemlich einfaches Gesetz zurückführen.

Man findet nämlich die Anziehung dem Quadrate der Stromstärke proportional. Dieses Gesetz wurde zuerst durch Versuche von Lenz und Jacobi erwiesen, welche die Anziehung direct an einer Wage bestimmten. An einem Ende ihres Wagebalkens war der Anker aufgehängt und darunter der Elektromagnet aufgestellt. Der constante Abstand zwischen beiden wurde durch Einlegen einer Holzscheibe gesichert. Nach Tarirung des Ankers durch Gewichte, welche auf die Schale der anderen Seite gelegt wurden, wurde der Strom geschlossen und neuerdings so viel Gewicht zugelegt, bis der Anker abgehoben wurde. Dies wurde bei verschiedenen Stromstärken wiederholt. Die Tabelle (a. f. S.) enthält einige dieser Beobachtungen.

Die berechneten Werthe der dritten Spalte sind aus den Quadraten der Tangenten der Winkel in der ersten Spalte durch Multiplication mit einem für jede Versuchsreihe constanten Factor erhalten. Ihre Uebereinstimmung mit den beobachteten Werthen beweist die Proportionalität zwischen Anziehung und Stromstärke. Dieselbe Proportionalität zeigte sich, als auch der Anker durch denselben Strom magnetisirt war, in welchem Falle jedoch die Anziehung bei gleicher Stromstärke etwa die vierfache war.

Die Proportionalität der Anziehung mit dem Quadrate der Stromstärke fand Dub auch bei hufeisenförmigen Elektromagneten zutreffend; derselbe fand ferner, dass das Gesetz, nach welchem die Anziehung mit der Entfernung des Ankers von den Magnetpolen abnimmt, von der Grösse der Anker abhängt. Dickere Anker wurden bei geringerer Entfernung schwächer, bei grösserer Entfernung stärker angezogen als dünnere.

Länge des Magneten 21·6 cm Dicke „ „ 4 „ Länge des Ankers 5·4 „			Länge des Magneten u. des Ankers 14·8 cm Dicke „ „ „ „ „ 1·35 cm		
Ablenkung an der Tangentenbussole	Anziehung		Ablenkung an der Tangentenbussole	Anziehung	
	beobachtet	berechnet		beobachtet	berechnet
19° 4′	13·16	13·75	15° 52′	1·46	1·64
28 48	32·45	33·44	28 52	5·65	6·16
33 8	44·13	43·05	37 42	11·49	12·10
36 27	57·45	57·51	46 37	21·16	22·68
42 26	89·10	90·34	52 44	33·81	34·99
50 35	154·10	153·1	55 30	41·97	42·89

So übereinstimmend die Versuche über elektromagnetische Anziehung die quadratische Proportionalität mit der Stromstärke bestätigt haben, so widersprechend sind die Resultate, zu welchen man bei der Untersuchung der Beziehungen zwischen Tragkraft und Stromstärke gelangt ist.

So glaubte z. B. Jacobi aus den Versuchen von Dal Negro mit hufeisenförmigen Elektromagneten auf eine einfache Proportionalität zwischen Tragkraft und Stromstärke schliessen zu dürfen. Zu demselben Resultate gelangten sowohl Jacobi als auch Fechner auch bei anderen Versuchen mit hufeisenförmigen Elektromagneten.

Spätere Versuche von Lenz und Jacobi haben jedoch dieses Gesetz nicht mehr bestätigt und bald eine raschere, bald eine langsamere Zunahme der Tragkräfte im Vergleiche mit den Stromstärken ergeben.

Dub's Versuche mit einem Hufeisen von 2·6 cm Dicke und 15 cm Schenkellänge zeigten eine raschere Zunahme der Tragkräfte im Vergleiche mit den Stromstärken; übrigens gilt von diesen Versuchen dasselbe, was Lenz und Jacobi von einer ihrer eigenen Versuchsreihen sagten: Die Tragkräfte wachsen zwar in einem stärkeren Verhältnisse als die Ströme, indessen keineswegs im quadratischen.

J. Müller war der Erste, welcher über die Frage nach den offenbar nichts weniger als einfachen Beziehungen zwischen Tragkraft und Stromstärke Licht verbreitete, indem er vor allem die Unhaltbarkeit der Annahme darlegte, dass die Tragkraft dem Quadrate der Stromstärke proportional sein könne. Er wies darauf hin, dass, wenn man auch die quadratische Proportionalität der Tragkraft mit dem erregten Magnetismus annehmen wolle, sie doch nicht auf die Stromstärke bezogen werden

könne, da die beiden letztgenannten Grössen vermöge seiner Formel §. 146 in der Relation

$$s = A\partial^{3/2}\, tg\, \frac{m}{B\partial^2}$$

zu einander stehen. Wolle man nun die Tragkraft τ mit m^2 proportional oder gradezu $\tau = m^2$ setzen, so erhalte man

$$s = A\partial^{3/2}\, tg\, \frac{\sqrt{\tau}}{B\partial^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 5)$$

Die wichtigste Folgerung, zu welcher J. Müller durch diese Erwägung gelangte, war die, dass die Tragkraft bei fortwährender Steigerung der magnetisirenden Stromstärken einem Gränzwerthe sich nähern müsse. J. Müller constatirte dies auch durch Versuche; desgleichen Poggendorff. Wir werden später darauf zurückkommen.

Wenn das von J. Müller aufgestellte Tragkraftsgesetz [5)] allgemeine Geltung hätte, so müsste die Tragkraft unter allen Verhältnissen langsamer wachsen als die Stromstärke. Dies steht mit einigen von den oben angeführten Versuchen von Dal Negro, Lenz, Jacobi und Dub im Widerspruche, bei welchen sich theils eine gerade Proportionalität, theils sogar ein rascheres Wachsen im Vergleiche mit der Stromstärke gezeigt hat.

Diese Widersprüche hat v. Waltenhofen in folgender Weise aufgeklärt. Er lieferte nämlich durch seine bei den verschiedensten Sättigungsgraden (von den schwächsten bis zu den stärksten Magnetisirungen) ausgeführten Versuche den Nachweis, dass jedes der angeführten Resultate innerhalb gewisser Grenzen Geltung hat. Bei beginnender Magnetisirung wächst nämlich die Tragkraft etwas rascher als die Stromstärke, wie es z. B. die oben angeführten Versuche von Dub bei gegebenen Sättigungsgraden ergeben haben. Bei starken Magnetisirungen findet das Umgekehrte statt, nämlich ein Zurückbleiben der Tragkräfte mit Annäherung von einem Gränzwerth, in Uebereinstimmung mit den Versuchen von Müller und Poggendorff. Bei dem Uebergange aus dem ersteren Verhalten in das letztere findet für gewisse dazwischen liegende Sättigungsgrade annähernde Proportionalität statt, wie sie aus den Versuchen von Dal Negro hervorgeht. Die graphische Darstellung der Tragkraft als Function der Stromstärke führt also zu einer ähnlichen Curve mit Wendepunkt, wie die magnetische Intensitätscurve Fig. 436, S. 485, und die Müller'sche Tragkraftsformel gilt nur für die höheren Sättigungsgrade, sowie die Müller'sche Formel für den Stabmagnetismus.

Das Gesagte erhellt aus den nachstehenden Versuchen, welche v. Waltenhofen mit einem Elektromagnet ausführte, dessen Eisenkern ein 181 mm langer und 10 mm dicker halbkreisförmig gebogener Cylinder war. Der genau ebenso gestaltete Anker war bei den in der Tabelle II. (a. f. S.) angeführten Versuchen ebenso wie der Elektromagnet

mit einer Magnetisirungsspirale, die derselbe Strom durchfloss, versehen, bei den Versuchen in der Tabelle I. war er ohne Draht. In den Ueberschriften bedeutet s die Stromstärke nach chemischem Maasse, p die magnetische Sättigung in Procenten, welche der Eisenkern des Elektromagneten vor dem Vorlegen des Ankers hat, τ die Tragkraft in Kilogramm (durch Abreissen mittelst einer Federwage beobachtet); $\frac{p}{s}$ lässt die Proportionalität des Magnetismus mit der Stromstärke erkennen.

Eine graphische Darstellung dieser Versuchsresultate lässt für II. ein Tragkraftsmaximum von etwa 18 Kilo annehmen. Man sieht, dass eine Annäherung an dasselbe schon bei Stromstärken stattfindet, bei welchen im nicht verankerten Magnet noch nicht die halbe magnetische Sättigung erreicht ist. Hieraus lässt sich erkennen, wie bedeutend der Sättigungsgrad durch das Vorlegen des Ankers erhöht und in Folge dessen eine raschere Annäherung der Tragkraft an das Maximum herbeigeführt wird.

Das raschere Anwachsen der Tragkräfte im Vergleiche mit den Stromstärken zeigt sich nur bei Sättigungsgraden von etwa 3 bis 5 Proc. (I.). — Bei den Versuchen II. mit dem elektromagnetisirten Anker tritt diese Unregelmässigkeit nicht mehr auf.

In neuester Zeit hat Stefan gezeigt, dass unter gewissen Voraussetzungen die Tragkraft der Magnete auf rein theoretischem Wege berechnet werden kann. Wir können hier nicht weiter darauf eingehen. Es mag daher nur noch bemerkt werden, dass Stefan auf diesem Wege z. B. für den hier beschriebenen Ringmagnet ein Tragkraftsmaximum von etwa $19\frac{1}{2}$ Kilo und für die in II. angeführten Stromstärken fast genau die thatsächlich beobachteten Tragkräfte gefunden hat.

Tabelle I.

Nr.	s	p	$\frac{p}{s}$	τ
1	16·29	3·01	0·194	1·97
2	28·11	5·57	0·198	4·17
3	35·29	6·79	0·192	4·92
4	45·55	8·91	0·196	6·27
5	89·35	17·78	0·199	10·27
6	96·86	18·98	0·196	10·27
7	130·01	24·85	0·191	11·37
8	188·77	38·29	0·203	14·02
9	246·53	51·39	0·208	14·42
10	249·23	52·12	0·209	14·42

Tabelle II.

Nr.	s	p	$\frac{p}{s}$	τ
1	16·03	3·10	0·193	5·37
2	37·40	7·15	0·191	8·97
3	45·55	8·74	0·192	10·27
4	91·05	17·60	0·193	13·87
5	236·28	49·75	0·211	16·24

Vertheilung des Magnetismus im Querschnitte der Eisenstäbe. 149 Feilitzsch hat nachgewiesen, dass der Magnetismus durchaus nicht gleichförmig im Querschnitte der Elektromagnete vertheilt ist, sondern dass die äusseren Schichten einen stärkeren Magnetismus zeigen als die inneren, dass bei schwacher magnetisirender Kraft nur in den äusseren Schichten eine magnetische Erregung stattfindet (Pogg. Ann. Bd. LXXX, S. 321).

Die Magnetisirungsspirale, die er zu seinen Versuchen anwandte, war 102 mm lang und war aus 176 Windungen eines $1\frac{3}{4}$ mm dicken Drahtes gebildet (vier Lagen, jede zu 44 Windungen). In die Höhlung derselben wurde eine Reihe aus Eisenblech verfertigter Cylinder gesteckt, von welchen immer einer genau in den andern passte. Der äusserste hatte einen Durchmesser von 31, der innerste, d. h. der siebente, hatte einen Durchmesser von 19 mm. Die Blechdicke betrug etwas mehr als $\frac{1}{2}$ mm. Sämmtliche Cylinder waren 110 mm lang. Während ein Strom von bestimmter Stärke die Windungen durchlief, wurde nun erst der weiteste Cylinder eingeschoben und die Stärke seines Magnetismus bestimmt; dann der zweite in den ersten und nun die Bestimmung des Magnetismus der beiden Hülsen vorgenommen; darauf wurde die dritte Hülse hinzugefügt etc.

Die folgende Tabelle enthält einen Theil der Resultate einer solchen Versuchsreihe.

Stromstärke	Nummer der gleichzeitig eingeschobenen Eisencylinder	Gesammtmagnetismus der Cylinder	Nummer der einzelnen Cylinder	Magnetismus in denselben
2·975	1	4·742	1	4·742
	1 + 2	6·604	2	1·961
	1 + 2 + 3	7·024	3	0·420
	1 + 2 + 3 + 4	7·199	4	0·175
8·510	1	6·347	1	6·347
	1 + 2	11·413	2	5·066
	1 + 2 + 3	15·500	3	4·087
	1 + 2 + 3 + 4	18·453	4	2·935
	1 + 2 + 3 + 4 + 5	20·019	5	1·566
	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6	20·800	6	0·781
	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7	21·135	7	0·335

Diese Tabelle ist wohl ohne weitere Erläuterung verständlich, und da es ja hier nur um Verhältnisszahlen zu thun ist, so ist es auch nicht nöthig, die Einheiten näher zu definiren, auf welche sich die Werthe der Stromstärke und des Magnetismus beziehen.

Aus den Zahlen dieser Tabelle lassen sich nun leicht folgende Schlüsse ziehen:

1. Der Magnetismus dringt um so tiefer in das Eisen ein, je stärker die magnetisirende Kraft der Spirale ist.

2. Jede Schicht des weichen Eisens hat einen Sättigungspunkt, und diesem Sättigungspunkte nähern sich die äussersten Schichten am schnellsten. Bei schwächeren magnetisirenden Kräften bleibt der Kern ganz unmagnetisch.

Darauf beruht auch das verschiedene Verhalten von massiven und von hohlen Eisenstäben, wenn dieselben in eine von einem Strom durchflossene Spirale hineingezogen werden, worauf wir unten zu sprechen kommen werden.

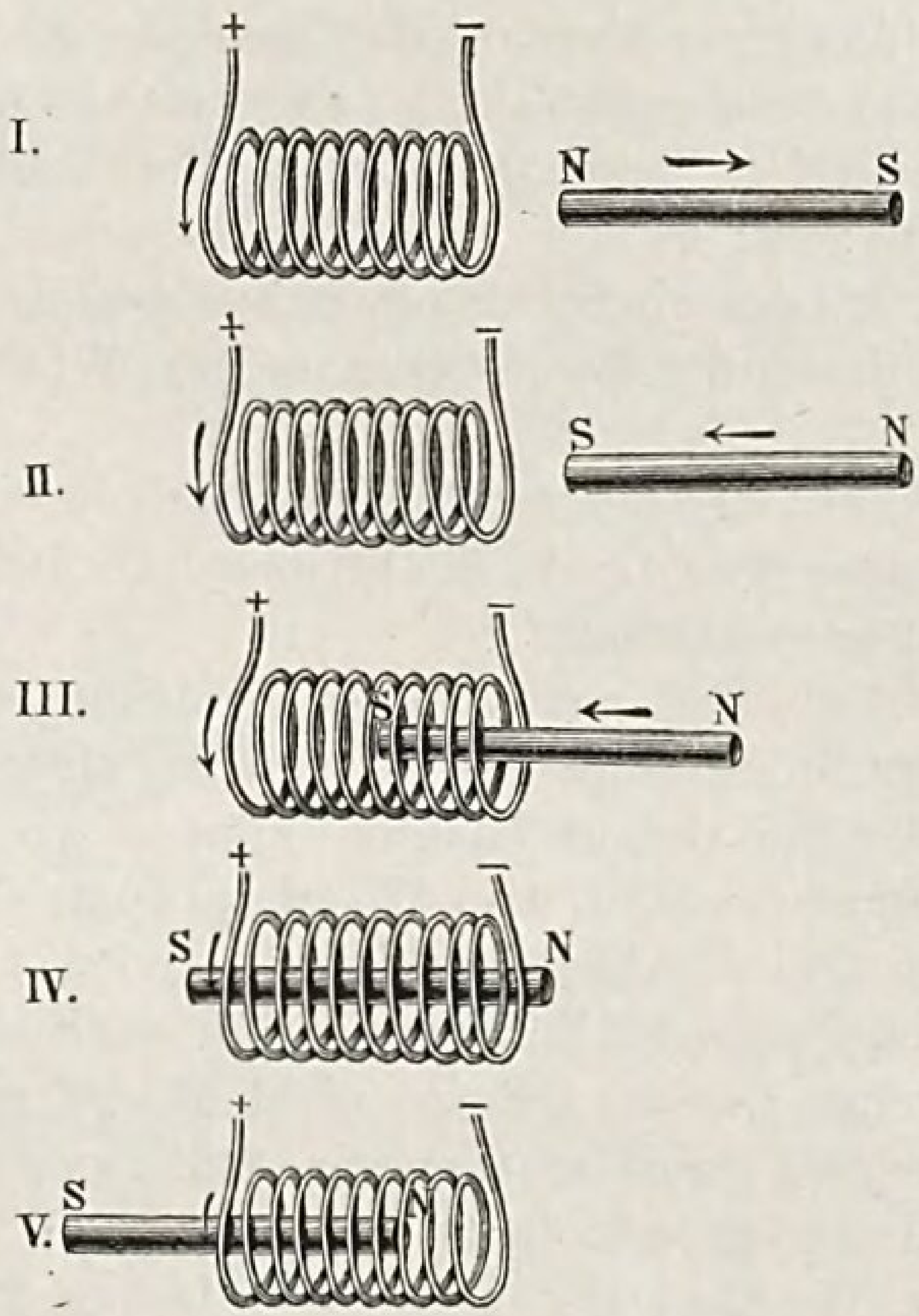
150 **Wirkung einer Spirale auf Magnete und weiches Eisen.** Im §. 138 haben wir die Wirkung eines Stromes auf einen Magnet kennen gelernt, welcher sich um eine zu seiner Magnetaxe senkrechte Axe drehen lässt. Hat der Stromleiter die Form eines Kreises oder einer Spirale, so wirkt er auf beide Pole bewegend in der Richtung senkrecht auf die Windungen, und zwar abstossend oder anziehend, je nach der Art des Magnetismus und der Stromrichtung, wie es die Ampère'sche Regel angiebt. Ein innerhalb einer Spirale oder in der Verlängerung deren Axe aufgestellter drehbarer Magnet stellt sich deshalb mehr oder weniger parallel zur Axe der Spirale. Hat nun aber ein solcher Magnet nicht nur die Möglichkeit sich zu drehen, sondern ist er auch einer fortschreitenden Bewegung fähig, so wird er entweder von der Spirale in der Richtung der Axe abgestossen oder in die Spirale hineingezogen, bis seine Mitte mit der Mitte der Spirale zusammenfällt.

Die Fig. 438 erläutert diese Erscheinungen. Angenommen, die Spirale werde, wie in Fig. 438 I, in der Richtung des Pfeiles vom positiven Strome durchflossen, so wirkt dieser Strom auf den in N befindlichen Nordpol nach der Ampère'schen Regel abstossend, auf den Südpol in S anziehend. Kann sich der Magnet nicht drehen, sondern nur parallel zu sich selbst verschieben, so muss er abgestossen werden, weil die abstossende Wirkung auf den näher befindlichen Nordpol überwiegt.

Haben dagegen die Pole die in Fig. 438 II angedeutete Lage, so überwiegt die Anziehung des Südpols über die Abstossung des Nordpols und der Magnet wird in Folge dessen in die Spirale hineingezogen. In der Lage III muss diese Wirkung mit verstärkter Kraft fortdauern. In der Lage IV dagegen ist die Wirkung, welche den Südpol nach links treibt, ebenso gross als jene, welche den Nordpol nach rechts zu bewegen sucht. Hier befindet sich also der Magnet in stabiler Gleichgewichts-

lage. Hat man ihn durch die Spirale hindurch und an anderen Enden herausgeführt (Fig. 438 V), so überwiegt jetzt die Wirkung der Spirale auf

Fig. 438.



den Nordpol jene auf den Südpol, in Folge dessen der Magnet nach rechts zurückgezogen wird, bis er wieder die symmetrische Gleichgewichtslage angenommen hat. Hätte der Magnet inmitten der Spirale die umgekehrte Lage der Pole, nämlich jene wie in I, so würde er sich in labilem Zustande befinden und bei der geringsten Verrückung nach rechts oder links hinausgestossen werden.

Ersetzen wir den permanenten Magnet durch einen Stab weiches Eisen, so wird derselbe bei der Annäherung an die Spirale in dem Sinne magnetisirt, wie in dem Falle II angenommen ist. Das weiche Eisen wird also jedenfalls in die Spirale hineingezogen und dann in der symmetrischen Lage ebenso festgehalten, wie ein gleich magnetisirter Stahlmagnet. Bezüglich der Kraft, mit welcher das Hineinziehen des Magnets oder Eisenstabes erfolgt, lässt sich leicht ermessen, dass dieselbe zunächst mit der Annäherung wachsen muss. Bevor jedoch die symmetrische Stellung eintritt, nimmt diese Kraft wieder ab. In der symmetrischen Stellung selbst ist sie gleich Null, bei der Weiterbewegung wird sie negativ, d. h. sie ändert die Richtung und nimmt an Intensität wieder bis zu einem Maximum zu, um dann wieder abzunehmen, wenn sich der Stab von der Spirale entfernt.

Bezüglich der Grösse der Kraft, mit der die Anziehung durch die Spirale erfolgt, besteht ein bemerkenswerther Unterschied zwischen Stahlmagnet und Eisenstab. Da nämlich der letztere desto mehr magnetisch wird, je näher er den Windungen kommt und je stärker der Strom ist, während der Stahlmagnet hiervon viel weniger beeinflusst wird, so muss eine Steigerung der Stromstärke bei ersterem viel wirksamer sein als bei letzterem. Nach den Versuchen von Hankel und von Dub gelten hierfür folgende Regeln:

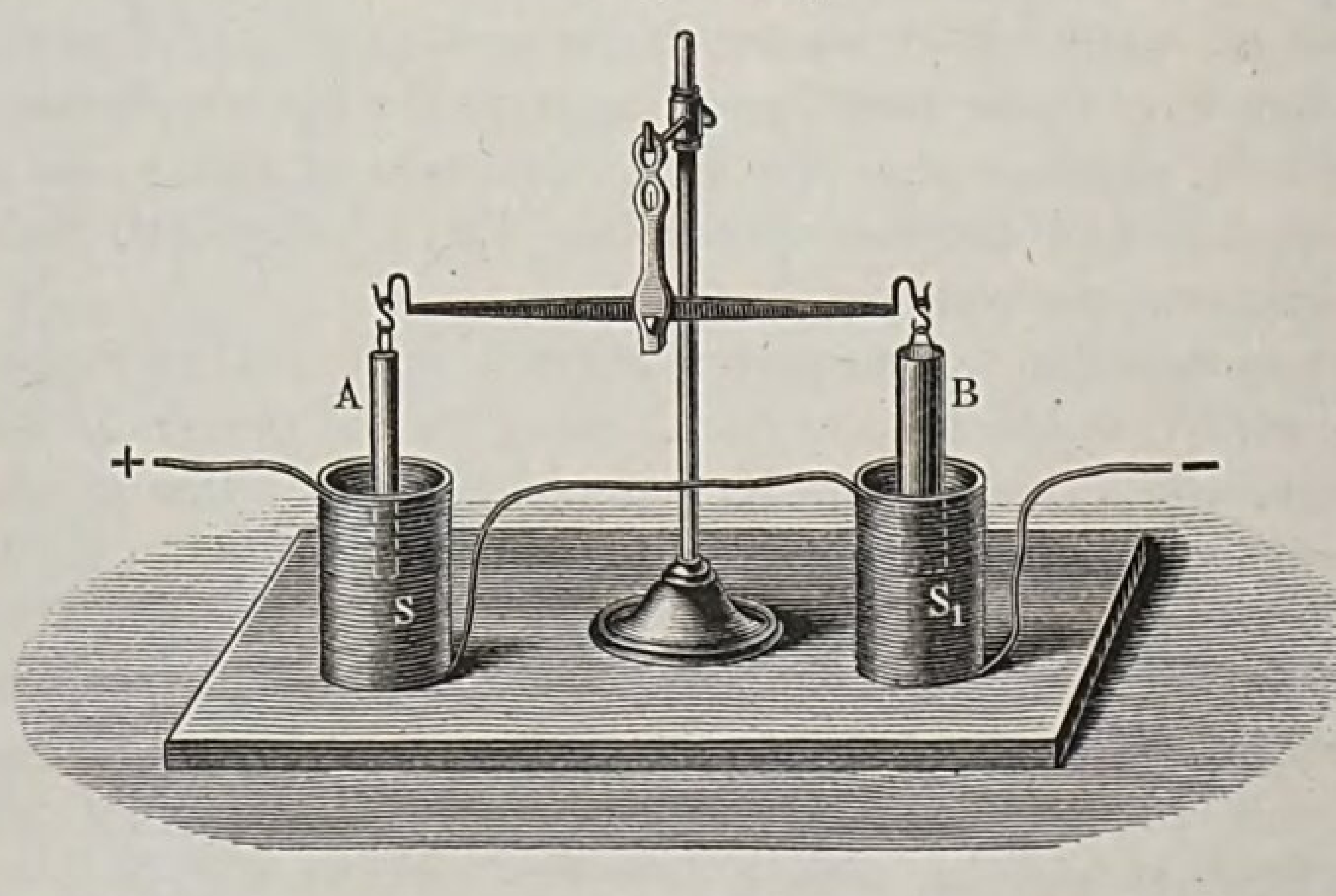
I. Die Kraft, mit der ein Stahlmagnet in eine Spirale hineingezogen wird, ist ziemlich genau der Stromstärke und der Windungszahl der Spirale proportional.

II. Die Kraft, mit der ein weicher Eisenstab in eine Spirale hineingezogen wird, ist dem Quadrate der Stromstärke und dem Quadrate der Windungszahl proportional.

Bezüglich der übrigen quantitativen Beziehungen zwischen Form und Grösse etc. der Spirale und des Eisenstabes einerseits und der anziehenden Kraft der Spirale auf letzteren müssen wir auf die ausführlichen Untersuchungen von Dub, Wiedemann, Wassmuth und v. Waltenhofen (Wien. Akad. Ber. Bd. 62 und 67) verweisen.

Um zu zeigen, dass weite Röhren aus dünnem Eisenblech bei Stromstärken, welche eine gewisse Gränze nicht überschreiten, viel stärker magnetisch werden, als gleich lange massive Stäbe von gleichem Gewichte, dass hingegen bei stärkeren Strömen die letzteren an Magnetismus überlegen sind, hat v. Waltenhofen einen einfachen Apparat construirt, welchen Fig. 439 darstellt. S und S_1 sind zwei ganz gleiche Draht-

Fig. 439.



spiralen, welche durch einen und denselben Strom durchflossen werden. An dem darüber hängenden Wagebalken ist einerseits der massive Eisenstab A, andererseits der hohle aus dünnem Eisenblech hergestellte, oben offene, unten geschlossene Cylinder B von grösserem Durchmesser

als A aufgehängt. Durch entsprechende Tara werden beide, bevor noch ein Strom geht, ins Gleichgewicht gebracht und hängen ungefähr zur Hälfte ins Innere der Spiralen hinein. Lässt man nun einen starken Strom durch die Spiralen gehen, so sinkt der massive Stab in Folge seines bei dieser Stromstärke grösseren magnetischen Moments; vermindert man die Stromstärke etwa durch Einschaltung von Widerständen bis zu einem gewissen Grade, so sinkt dagegen das Eisenrohr. Dazwischen liegt dann eine gewisse Stromstärke, bei welcher sich der Wagebalken im labilen Gleichgewichte befindet, wo also jener Eisenkern das Uebergewicht zeigt, welcher weiter in die Spirale hineingesenkt wird.

Fig. 440.

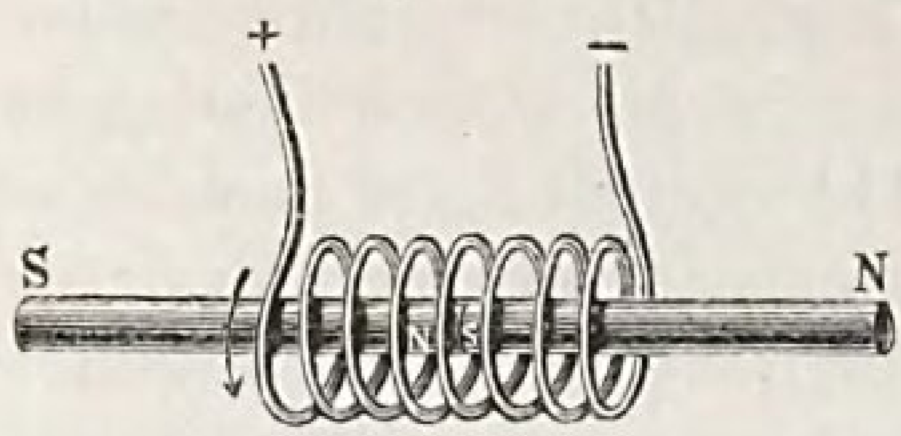
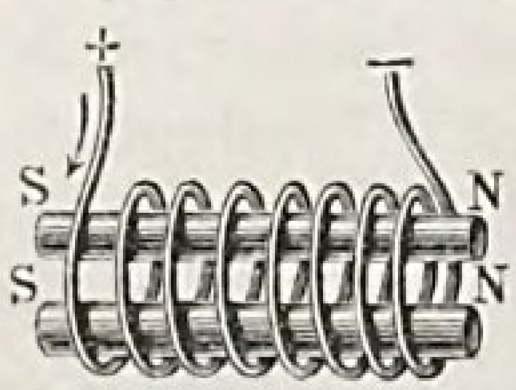


Fig. 441.



Werden in eine von einem Strom durchflossene Spirale zwei Eisenstäbe eingeschoben, so dass ihre Axen in dieselbe Gerade fallen, so ziehen sich die Stäbe kräftig an, da die entgegengesetzten Pole an einander zu stehen kommen, Fig. 440. Schiebt man dagegen die Eisenstäbe parallel über einander, so stossen sie sich ab, weil gleichnamige Pole neben einander zu liegen kommen, Fig. 441. Steckt man mehrere leichte Eisenstäbe parallel zu einander in die Spirale, so suchen sie sich so weit als möglich von einander zu entfernen; bei hinlänglich starkem Strome vertheilen sie sich daher in nahezu gleichen Abständen an der inneren Peripherie der Spirale. Lässt man in eine mit verticaler Axe frei befestigte Spirale von hinreichender Windungszahl, welche durch einen genügend starken Strom durchflossen wird, einen Stab von Stahl oder Eisen hineinfallen, so pendelt er einigemale auf und ab und bleibt dann frei schwebend hängen. Dieses Phänomen ist von v. Waltenhofen (Wien. Akad. Ber. 62, p. 639) näher untersucht worden. Dabei hat sich ausser einigen quantitativen Beziehungen, die wir übergehen müssen, insbesondere die in praktischer Hinsicht sehr interessante Thatsache ergeben, dass das Minimum der Stromstärke, welche eben zum Schwebenbleiben gleich schwerer und gleich langer Stäbe hinreicht, in hohem Grade von der Härte des Materials abhängt. Je weicher dasselbe ist, je leichter der Stab daher Magnetismus annimmt, desto geringer ist die Stromstärke, welche eben ausreicht, um das Schweben zu erhalten. Das darauf zu gründende Untersuchungsverfahren ist empfindlich genug, um geringfügige Härteunterschiede der Stäbe nachzuweisen.

Liegt ein weicher Eisenstab ausserhalb der Spirale und ist derselbe parallel zur Axe der Spirale in der Richtung seiner eigenen Axe verschiebbar (Fig. 442, a. f. S.), so ist leicht einzusehen, dass er ebenfalls so lange verschoben wird, bis seine Mitte der Mitte der Spirale gegenüber-

steht. Nach der Ampère'schen Regel entsteht dabei ein Magnet mit entgegengesetzter Lage der Pole wie bei dem Stabe innerhalb der Spirale (Fig. 438 III). Denkt man sich nun parallel der Spirale ringsum eine ununterbrochene Reihe von Stäben angeordnet, so bilden dieselben den Uebergang zu einer concentrischen Röhre von weichem Eisen, Fig. 443. Eine solche wird also auch magnetisch und von der Spirale angezogen. Falls die Röhre feststeht und die Spirale beweglich ist, wird daher die letztere in die Röhre hineingezogen. Fig. 444 endlich zeigt noch den combinirten Fall, wo eine Spirale in den concentrischen Zwischenraum zwischen dem massiven Eisenkern und dem Eisenmantel hineingezogen wird. Die Pole von Kern und Mantel liegen verkehrt. Verbindet man das eine Ende des Kerns mit dem Ende der Röhre durch eine Platte aus weichem Eisen p, so erhält man eine Art Hufeisenelektromagnet, dessen einer Schenkel um den anderen Schenkel umgestülpt erscheint. Auch dieser wird die Spirale hineinziehen. Solche Elektromagnete sind von Romershausen, Dub und Kravogl construirt worden und haben eine ungefähr 3mal so grosse Tragkraft als der umwickelte Kern für sich allein hat. Näheres hierüber in Dub's Elektromagnetismus, wo auch noch andere Formen von Elektromagneten beschrieben sind.

Fig. 442.

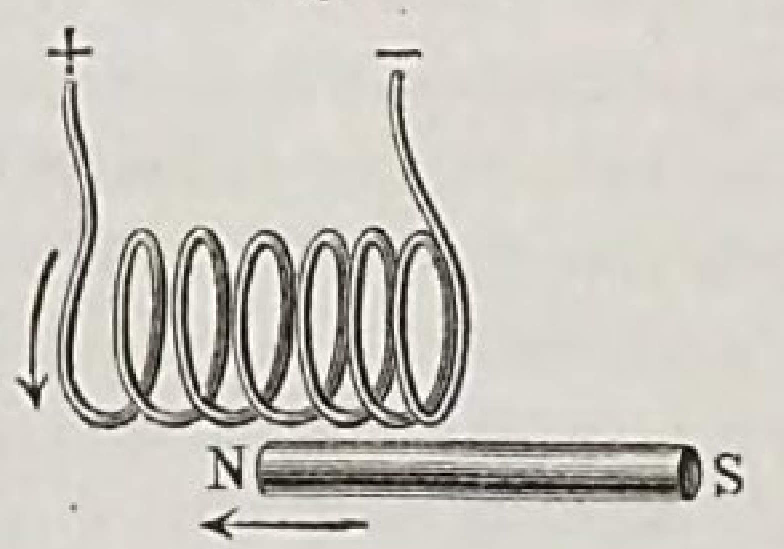


Fig. 443.

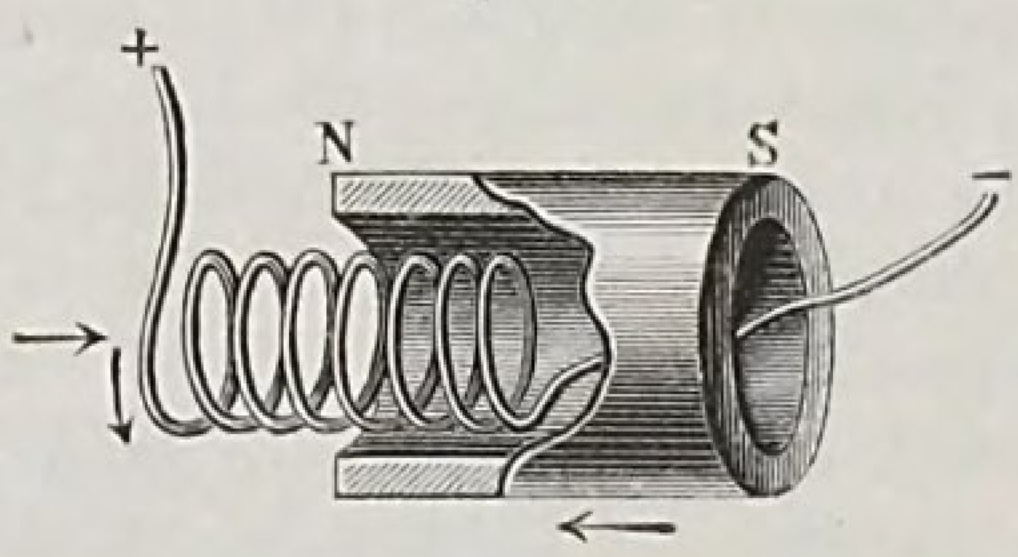
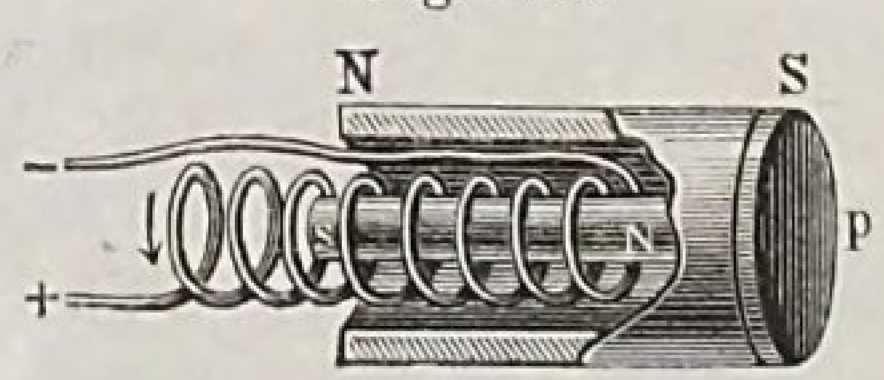


Fig. 444.



151 **Beziehungen zwischen Torsion und Magnetismus.** Schon in §. 22 haben wir den Einfluss kennen gelernt, welchen mechanische Erschütterungen auf den Magnetismus von Stahlstäben ausüben, welche unter dem Einfluss magnetisirender Kräfte stehen. In ähnlicher Weise wie Erschütterungen wirkt auch, wie Matteucci sowohl wie auch Wertheim gezeigt haben, die Torsion der Stahlstäbe. Am gründlichsten hat Wiedemann die Beziehungen und Analogien zwischen Torsion und Magnetismus untersucht. Die wichtigsten der von ihm hierüber zusammengestellten Sätze sind folgende:

Torsion.	Magnetismus.
1. Erschütterungen während der Einwirkung eines tordirenden Gewichtes vermehren die Torsion eines Drahtes.	1. Erschütterungen während der Einwirkung eines magnetisirenden Stromes vermehren den Magnetismus des Stahlstabes.
2. Die permanente Torsion eines Drahtes wird nach Wegnahme des tordirenden Gewichts durch Erschütterungen vermindert.	2. Der permanente Magnetismus eines Stahlstabes wird nach der Unterbrechung des magnetisirenden Stromes durch Erschütterungen vermindert.
3. Die permanente Torsion der Eisendrähte nimmt durch ihre Magnetisirung ab.	3. Der permanente Magnetismus der Stahlstäbe nimmt durch ihre Torsion ab.
4. Wird ein Draht magnetisirt, während er unter dem Einfluss eines tordirenden Gewichts steht, so nimmt seine Torsion bei schwacher Magnetisirung zu, bei stärkerer nimmt sie wieder ab.	4. Wird ein Stahlstab tordirt, während er unter dem Einflusse eines magnetisirenden Stromes steht, so nimmt sein Magnetismus bei schwacher Torsion zu, bei stärkerer nimmt er wieder ab.
5. Leitet man durch einen magnetisirten Eisendraht einen Strom oder magnetisirt man einen Eisendraht, durch den man einen Strom geleitet hat, so tordirt er sich.	5. Tordirt man einen Eisendraht während oder nach dem Durchleiten eines galvanischen Stromes, so wird er magnetisch.

Ausführlicheres über diesen Gegenstand findet man im 2ten Theile von Wiedemann's Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus.

Töne beim Magnetisiren des Eisens. Die Magnetisirung 152
des Eisens durch eine galvanische Spirale ist oft von einer eigenthümlichen Tonbildung begleitet. Die erste hierher gehörige Beobachtung wurde von Page im Jahre 1837 gemacht. Nach ihm wurde das galvanische Tönen des Eisens von Marrian, de la Rive, Wertheim und Buff untersucht (Annal. d. Chem. u. Pharm. III. Supplementband).

Wenn man einen Eisenstab mit einer Drahtspirale umgiebt und durch diese einen starken elektrischen Strom leitet, so hört man bei jeder Schliessung oder Unterbrechung des Stromes ein kurzes Geräusch, welches mehr einem Geklirr als einem musikalischen Klange ähnlich ist.

Hat man jedoch zu diesem Versuche einen Stab von geringer Dicke gewählt, dessen eines Ende oder dessen Mitte in einem Stege eingespannt

ist, welcher auf einem Resonanzboden aufsitzt, so wird neben dem knarrenden Klirrgeräusche ein Ton von bestimmter Höhe wahrgenommen.

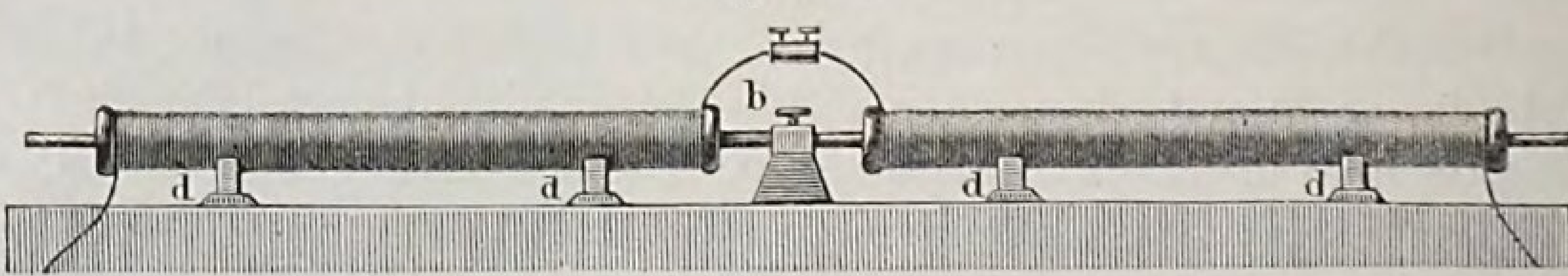
Um ein rasch auf einander folgendes Oeffnen und Schliessen des Stromes zu bewirken, kann man irgend einen der später zu besprechenden Stromunterbrecher anwenden, und zwar am besten einen Quecksilberunterbrecher, der nicht selbst ein merkliches Geräusch macht. Wenn der Stromunterbrecher ein störendes Geräusch macht, so muss er in einem Nebenzimmer aufgestellt und durch eine Drahtleitung in den Schliessungsbogen eingeschaltet werden.

Schon Marrian beobachtete, dass der Ton, welchen die Eisenstäbe unter diesen Umständen hören lassen, der Longitudinalton derselben ist. Er ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen auf einander folgen.

Wertheim hat dies bestätigt. Er fand, dass bei gleicher Länge die Form und Grösse des Querschnitts keinen Einfluss auf die Höhe des Tones habe, dagegen hörte er bei vier Stäben von 2,0, 1,16, 1,333 und 1 m Länge nach einander den Grundton, die Terz, die Quint und die Octav.

Fig. 445 stellt den von Wertheim angewandten Apparat dar. Der

Fig. 445.



Eisen- oder Stahlstab muss in der Höhlung der Magnetisirungsspirale stecken, ohne die Wände derselben zu berühren.

Bei dünneren Stahlstäben ist das Klirrgeräusch weniger stark, der Ton aber weit reiner und stärker, als bei eisernen Stäben von gleichen Dimensionen.

Es gelingt zwar nicht, den begleitenden Klirrton ganz zu beseitigen, doch fand Buff, dass er merklich zurücktritt, wenn man den Stab nicht seiner ganzen Länge nach mit Drahtwindungen umgiebt, sondern eine nur 10 bis 15 cm lange Rolle nahe an seinem freien Ende anbringt. Die besten Resultate erhielt er mit einem 126 cm langen, nur 5 mm dicken Stahlstab, welcher in der Mitte auf einem Resonanzboden eingespannt und nur auf 12 cm seiner Länge mit einer Drahtrolle umgeben war.

Stäbe von Zink, Kupfer, Messing, Glas etc. geben selbst mit Säulen von 20 Bunsen'schen Elementen keinen Ton.

Befindet sich der Stab ausserhalb der Axe der Spirale, so ist der longitudinale Ton weniger rein und von Querschwingungen begleitet, die schon dem blossen Auge sichtbar sind; allein diese Schwingungen geben einen so schwachen Transversalton, dass man ihn nicht anders hören kann, als wenn man das Ohr auf das den Apparat tragende Brett legt.

Der Ton bleibt sich gleich, es mag der Strom in gleichem oder entgegengesetztem Sinne die beiden Hälften des Stabes umkreisen, oder endlich nur auf eine Hälfte oder irgend einen Theil des Stabes wirken, sobald nur dieser Theil hinlänglich vom Einspannungspunkte entfernt und der Strom hinlänglich stark ist.

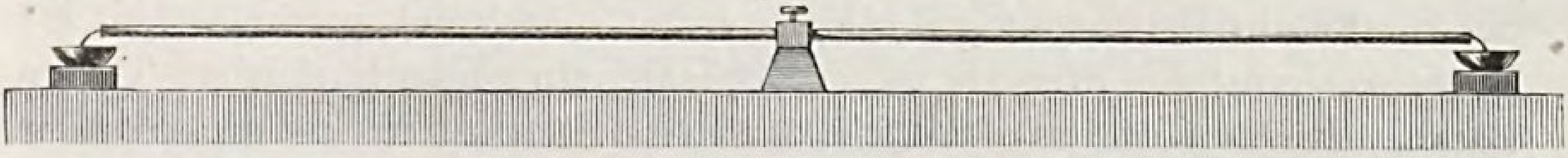
Aehnliche Resultate wurden mit Eisen- und Stahldrähten erhalten, welche in der Axe der Magnetisirungsspirale ausgespannt waren. — Wertheim wandte Drähte von 0,5 bis 3 mm Dicke an. Sobald die Spannung so stark war, dass der am Draht herabgeführte Violinbogen nur den Längston ohne ein anderes Geräusch vernehmen liess, war der vom unterbrochenen Strom erregte Ton auch ganz rein; wenn aber die Spannung vermindert wird, ist sowohl der vom Violinbogen als auch der durch den Strom erzeugte Ton von einem anderen Geräusch begleitet. Dieses Geräusch ist nicht bloss der Querton, sondern ein ganz eigenthümliches, schwer bestimmbares Geräusch, gewissermaassen ein den Draht entlang laufendes Geklirr, welches vorzugsweise bei rasch auf einander folgenden Unterbrechungen merklich wird. Bei dünnen Drähten ist dieses Geräusch schwer zu beobachten, während der Längston selbst bei schwachen Spannungen andauert. — Wohl angelassene Drähte von 1 mm Durchmesser geben im Allgemeinen die besten Resultate.

Drähte von Blei, Zinn, Zink, Kupfer, Messing, Silber und Platin geben, nach Wertheim's Versuchen, keinen Ton.

Wenn die Unterbrechungen des elektrischen Stromes sehr rasch auf einander folgen, so wird dadurch die Höhe des eben besprochenen magnetischen Tones zwar nicht geändert, aber es tritt dann gleichzeitig noch ein anderer Ton auf, welcher von der Summe der gegen die Eisenatome ausgeübten magnetischen Stösse abhängig ist und gleiche Höhe mit demjenigen hat, welchen der Unterbrechungsapparat selbst bietet.

Auch mit dem durchgeleiteten Strom brachte Wertheim Töne hervor. Um sie in einem Eisenstab zu erzeugen, befestigte er einen dünnen Messinghaken an jedem Ende des Stabes, Fig. 446, und tauchte dieselben in Quecksilbernäpfchen.

Fig. 446.



Jedesmal, wenn der Strom hergestellt und wieder unterbrochen wird, hört man den Längston. „Bei diesen Versuchen muss man sich aber sehr hüten," sagt Wertheim, „den eigenen Ton des Stabes zu verwechseln mit dem Geräusch des Funkens, welches sich gleich jedem anderen Ton mit grosser Leichtigkeit durch starre Körper fortpflanzt. Dieser Fehler wird leicht begangen, besonders wenn der Stab oder Draht auf einem Resonanzboden befestigt ist."

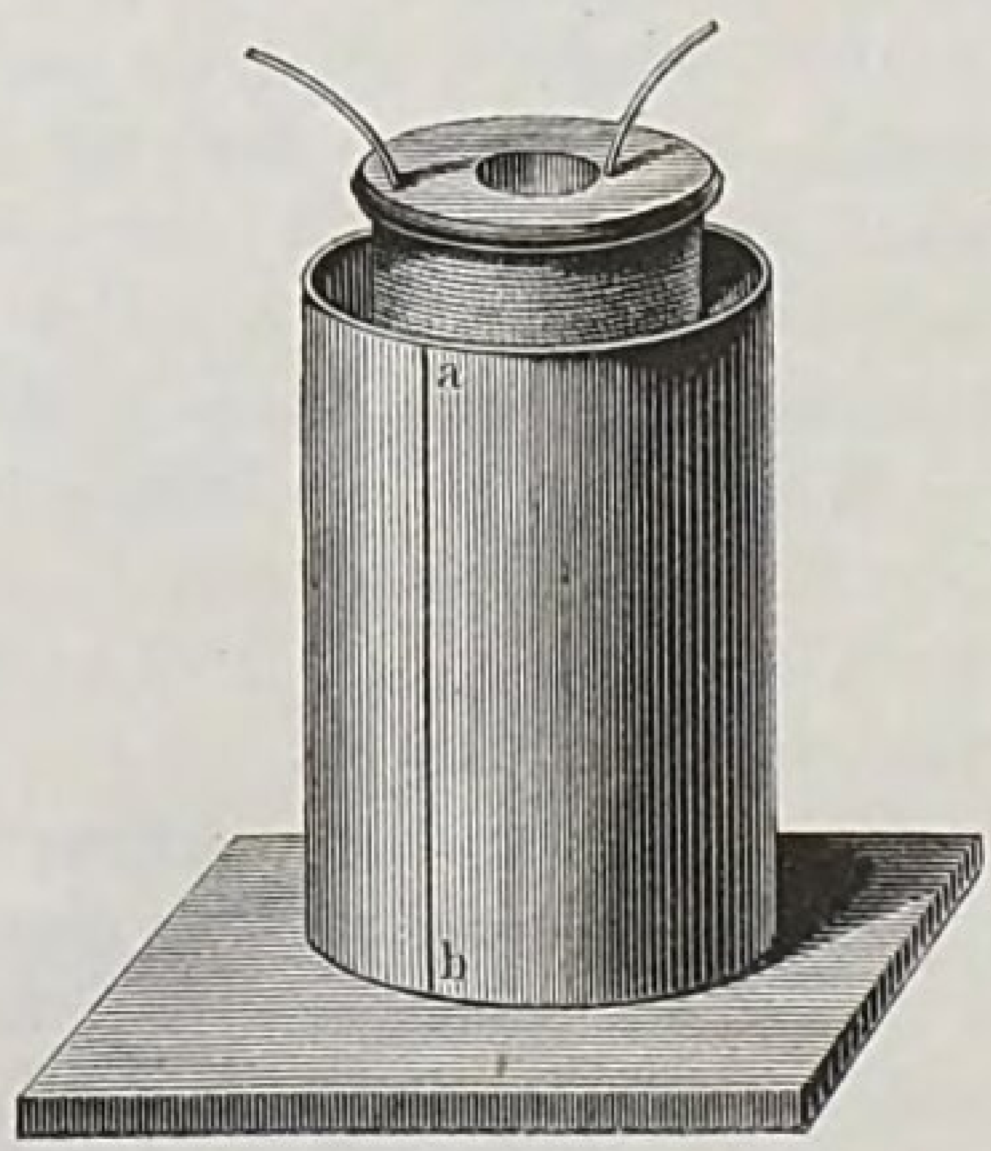
Bei gleichem Strome nimmt die Stärke des Tones ab, wenn der Stab dicker ist.

Nach Wertheim's Untersuchungen erfährt der Eisenstab im Momente der Magnetisirung eine sehr kleine Verlängerung, welche ohne Zweifel die Ursache der Tonbildung ist. Diese Verlängerung ging selten über 0,002 mm, und war, obwohl deutlich sichtbar, doch fast unmessbar.

Nach Joule's Messungen beträgt die Verlängerung eines bis zur Sättigung magnetisirten Eisenstabes $^{1}/_{270000}$ seiner Länge.

Ein ähnliches Tönen beobachtete Poggendorff (Annal. Bd. XCVIII), als er eine kräftige Magnetisirungsspirale (die seinige war aus einem ungefähr 30 m langen und $1\frac{1}{2}$ mm dicken Kupferdraht gebildet) mit einem Cylinder von Eisenblech umgab. Die Axe der Drahtspirale stand vertical und der Blechcylinder war darüber geschoben, ungefähr wie Fig. 447 zeigt.

Fig. 447.



Zur Unterbrechung des Stromes wurde ein Wagner'scher Hammer von möglichst leisem Gang angewandt, dessen Beschreibung im nächsten Capitel folgt.

Das Tönen des Eisencylinders erfolgt, mag nun der Cylinder vollkommen metallisch geschlossen sein oder nicht; in letzterem Falle wird aber der Ton sogleich weit kräftiger, oder vielmehr es scheint zu dem ersten noch ein neuer Ton hinzu zu kommen, wenn man die Ränder des verticalen Spaltes ab mit einander in Berührung bringt.

Wendet man statt der eisernen Hohlcylinder andere von nicht magnetischen Metallen, z. B. von Zink, von Messing etc. an, so ist kein Ton zu hören, wenn der Cylinder durch Zusammenlöthen der Ränder metallisch geschlossen, oder wenn er ganz offen ist; sobald aber die Ränder des Spaltes in Berührung gebracht werden, lässt sich jedesmal bei der Unterbrechung des Stromes in der Spirale ein eigenthümliches Ticken hören. Der Ton ist am stärksten, wenn die Ränder nur lose an einander liegen; er wird schwächer, wenn man sie fest gegen einander drückt. Zur Hervorbringung der Erscheinung genügt ein einziger Bunsen'scher Becher.

Die Töne, welche man von Metallröhren mit einander berührenden Rändern erhält, werden offenbar durch die (erst im sechsten Capitel zu besprechenden) Inductionsströme hervorgerufen, welche die Unterbrechung des die Spirale durchlaufenden Stromes in der Masse der Metallhülsen erzeugt. Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht auch der

Umstand, dass alles, was den Inductionsstrom verstärkt, also auch namentlich das Einschieben eines Bündels von Eisendrähten in die Höhlung der Spirale, den Ton lauter macht.

Elektromagnetische Motoren, Eintheilung derselben; Systeme, welche auf der gegenseitigen Einwirkung von Magnetpolen beruhen. 153 Die kräftigen Anziehungs- und Abstossungserscheinungen, welche man an Elektromagneten beobachtet, führten auf den Gedanken, dieselben zum Betriebe von Maschinen zu verwenden. Die dazu construirten Apparate werden elektromagnetische Motoren genannt. Der hierfür manchmal auch gebrauchte Name „Elektromotor" kann zu Verwechslungen Anlass geben, da man auch einen stromerregenden Apparat, z. B. ein Volta'sches Element, mit diesem Ausdrucke bezeichnet findet.

Als Erfinder der elektromagnetischen Motoren wird gewöhnlich Dal Negro, 1834, genannt, doch hat Prof. Jedlička schon 1829 einen solchen gebaut. Jacobi publicirte die Beschreibung seines Apparates im Jahre 1835.

Seitdem sind eine grosse Anzahl solcher elektromagnetischer Motoren construirt worden, welche wir der Uebersicht wegen in folgende Gruppen theilen wollen:

I. Apparate, bei welchen Magnetpole auf Magnetpole wirken.

a. Die intermittirenden Pole eines Elektromagnets wirken zeitweise anziehend auf weiches Eisen.

Systeme: Grüel, Zöllner, Froment, Cazal, Egger.

b. Die wechselnden Pole eines Elektromagneten wirken abwechselnd anziehend und abstossend auf die bleibenden Pole von Stahl- oder Elektromagneten.

Systeme: Dal Negro, Ritchie, d'Heureuse, Jacobi, Vorsselmann de Heer, Helmholtz.

II. Apparate, bei welchen Spiralen auf Magnete oder umgekehrt wirken.

a. Spiralen mit intermittirendem Strome wirken zeitweise anziehend auf weiches Eisen, welches dabei stets im selben Sinne elektromagnetisch wird.

Systeme: Page, Dub, Kravogl, Pacinotti, Gramme etc.

b. Spiralen mit wechselnder Stromrichtung wirken abwechselnd anziehend und abstossend auf Stahl- oder Elektromagnete mit bleibenden Polen.

Systeme: Stöhrer, d'Heureuse.

Die wesentlichen Bestandtheile jedes elektromagnetischen Motors sind also fürs erste die beiden auf einander wirkenden Theile, dann eine Vorrichtung zur rechtzeitigen Unterbrechung oder Umkehrung des

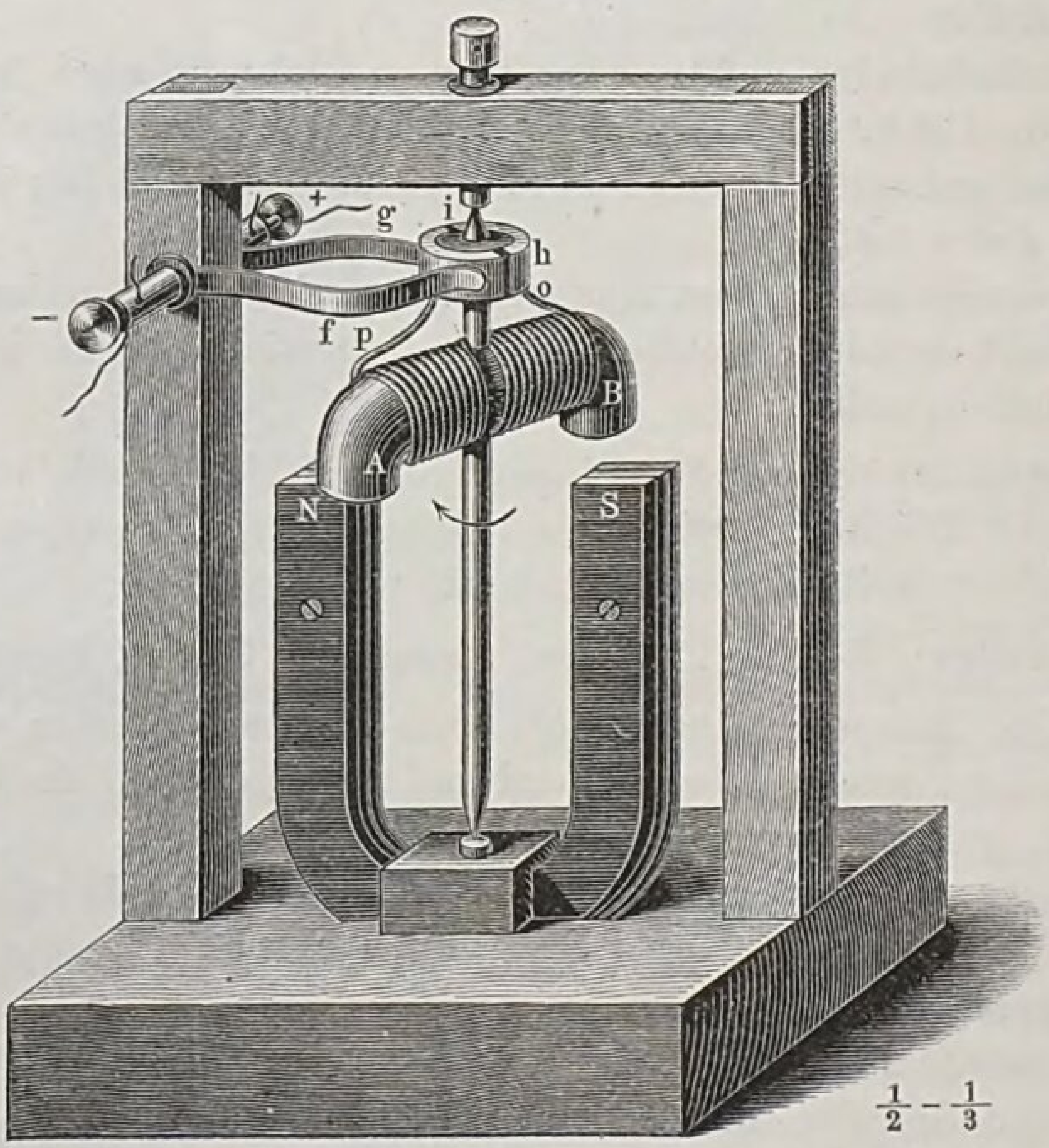
Stromes (Stromsteuerung oder Commutator), endlich Bestandtheile zur weiteren Uebertragung der erzeugten Bewegung.

Wir wollen von diesen zahlreichen Systemen nur einige beschreiben, welche sich entweder durch die Priorität oder durch vortheilhafte Construction oder sonst irgendwie auszeichnen.

Der elektromagnetische Motor von Dal Negro beruhte auf der Oscillation eines Stahlstabes zwischen den wechselnden Polen eines Elektromagnets. Fast eben so alt ist der in physikalischen Kabineten sehr verbreitete Apparat von Ritchie (1837), wovon Fig. 448 ein Modell in einfachster Ausführung darstellt.

Ein U-förmiger Stahlmagnet ist auf einem Brett so befestigt, dass er vertical steht und seine Pole nach oben gerichtet sind. In der Mitte

Fig. 448.



zwischen den beiden Schenkeln desselben befindet sich eine verticale stählerne Axe, welche in Spitzen läuft, und an welcher ein horizontaler Elektromagnet befestigt ist, dessen Pole bei der Rotation um die verticale Axe gerade über den Polen des Stahlmagnets hinweggehen. Gerade über dem Elektromagnet ist auf der stählernen Axe der Commutator angebracht; derselbe besteht aus einer Scheibe von Hartgummi, welche von einem Messingringe umgeben ist. Dieser Ring bildet aber kein Ganzes, sondern er besteht aus zwei Hälften *h* und *i*, welche durch zwei einander diametral gegenüberliegende Zwischenräume von einander getrennt sind, also nicht in leitender Verbindung stehen, wie man in der Figur deutlich sieht.

Das eine Ende *o* der Drahtwindungen, welche den Eisenkern des Elektromagnets umkreisen, ist nun an dem Halbringe *h*, das andere Drahtende ist an dem Halbringe *i* angelöthet.

Auf dem Umfange der eben besprochenen Scheibe schleifen zu beiden Seiten zwei Metallfedern *f* und *g*, auf deren äusseren Enden die Klemmschrauben befestigt sind, welche zur Aufnahme der Poldrähte der Batterie dienen.

Nehmen wir an, in die vordere Klemmschraube sei der negative, in die hintere sei der positive Poldraht eingeschraubt, so wird bei der in unserer Figur dargestellten Lage der positive Strom durch die Feder *g* zum Halbringe *h* und von diesem durch *o* in die Windungen gelangen, während die vordere Feder auf dem Halbringe *i* schleift, also der positive Strom aus den Windungen über *i* und durch die Feder *f* austritt. Unter diesen Umständen wird das vordere Ende *A* des umströmten Eisens ein Südpol, *A* wird also von *N* und *B* wird von *S* angezogen, der Elektromagnet dreht sich also in der durch den Pfeil angegebenen Richtung.

In dem Moment, in welchem *A* über *N* und *B* über *S* passiren, gehen die isolirenden Zwischenräume zwischen *h* und *i* unter den Federn weg, die Feder *f* kommt auf *h* und *g* kommt auf *i* zu liegen, was einen Stromwechsel und eine Umkehrung der Polarität des Elektromagnets zur Folge hat. *A* wird nun von *N* und *B* wird von *S* abgestossen, was zur Folge hat, dass die Rotation in gleicher Richtung fortdauert. Sobald *A* wieder über *S* und *B* über *N* ankommt, findet ein abermaliger Polwechsel statt, durch welchen der Elektromagnet abermals in gleicher Richtung fortgetrieben wird.

Es versteht sich von selbst, dass man den Stahlmagnet in diesem Apparate auch durch einen Elektromagnet ersetzen kann, in welchem kein Polwechsel stattfindet. Man kann dann denselben Strom zuerst um den feststehenden Elektromagneten und von dort erst zum Commutator führen.

Bei dem Jacobi'schen Apparate war die Umdrehungsaxe horizontal und statt eines festen und eines beweglichen Elektromagnets kamen vier feste und vier rotirende in Anwendung. Mit einer solchen elektromagnetischen Maschine, welche durch eine Batterie von 64 constanten Zinkplatinelementen getrieben wurde, brachte er es im Jahre 1839 dahin, ein Boot auf der Newa in Bewegung zu setzen. So war allerdings die Möglichkeit des Maschinenbetriebs durch Elektromagnetismus dargethan. Heutzutage wissen wir aber bestimmt, dass die so gewonnene Triebkraft stets viel theurer zu stehen kommt, als die Dampfkraft und es werden daher nur mehr kleinere Motoren construirt.

Solche kleinere Motoren können dann bei physikalischen oder physiologischen Arbeiten oft recht gute Dienste verrichten, da es hierbei weniger auf die Billigkeit der Betriebskraft, als auf deren bequeme und exacte Anwendbarkeit ankommt. So ist z. B. ein von Helmholtz construirter Motor nach demselben Principe, wie der von Ritchie, häufig

in Anwendung, weshalb wir denselben hier ebenfalls beschreiben wollen. Fig. 449 zeigt denselben im Aufriss. Man beachte in derselben folgende Bestandtheile:

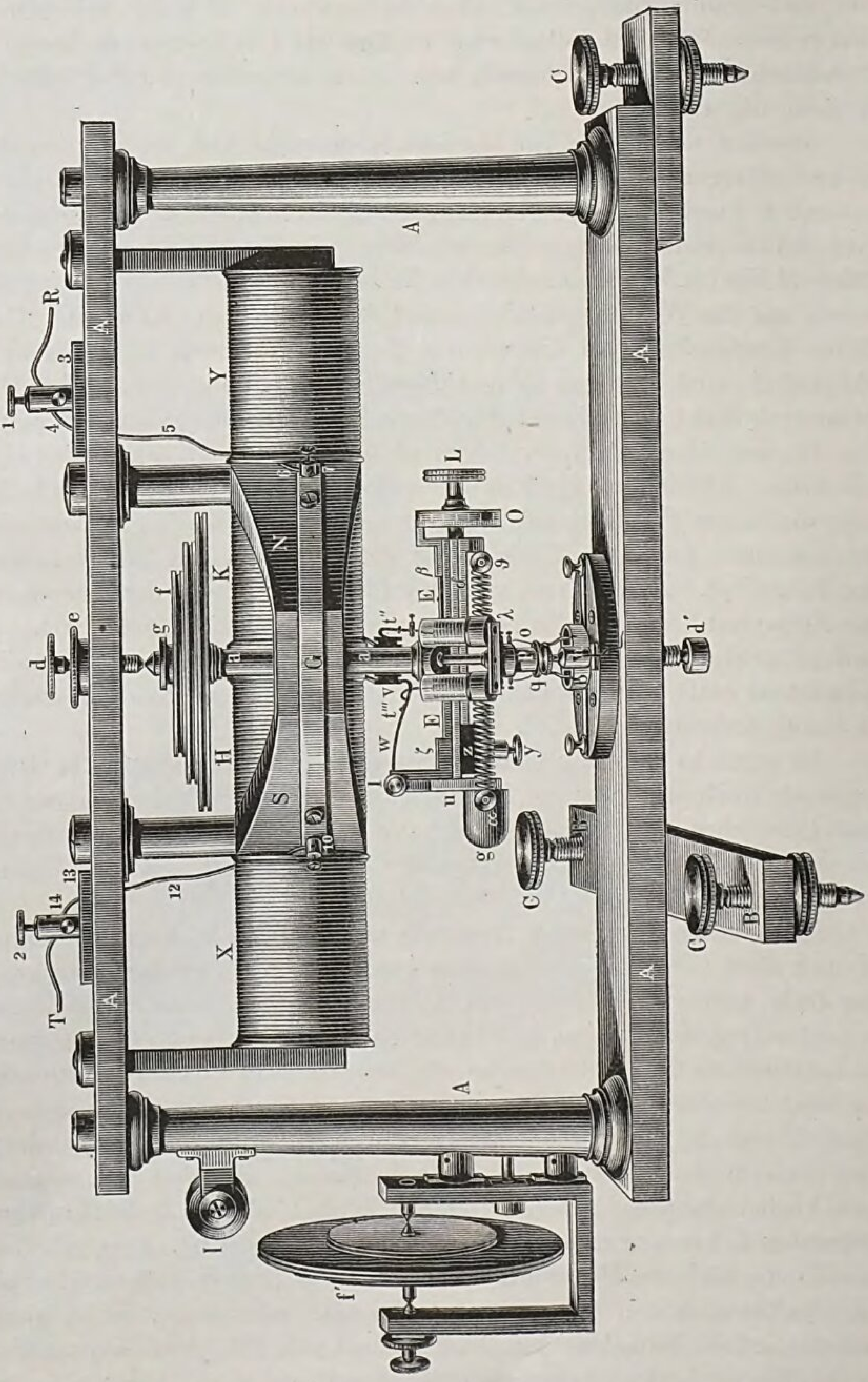


Fig. 449.

A A, *B B* das Gestelle mit den drei Fussschrauben *C*, *C*, *C* zum Horizontalstellen. *X*, *Y* zwei feststehende Elektromagnete mit horizontal liegender Axe, deren Windungen durch die Metallspange *G* mit einander verbunden sind. *S*, *N* ein horizontaler eiserner Ring, von welchem nur die vordere Hälfte sichtbar, welche sich unmittelbar an die Kerne der feststehenden Elektromagnete anlegt, so dass hiedurch deren Pole halbkreisförmig erweitert sind.

a a eine verticale Drehungsaxe, deren Lager durch die Schrauben *d* und *d'* verstellbar und durch *e* fixirbar sind.

H K zwei an der Axe *a a* befestigte, mit derselben drehbare Elektromagnete, deren nach aussen gerichtete Pole sehr nahe an den eisernen Ring *S N* hinanreichen.

f eine Schnurscheibe mit drei Rinnen von verschiedenem Radius. Eine eben solche *f'* ist in verticaler Lage auf der linken Seite angebracht. Zwei Rollen, wovon nur die vordere *I* sichtbar, vermitteln im Bedarfsfalle die Uebertragung der Bewegung von der horizontalen Schnurscheibe auf die verticale.

b ein Quecksilbernapf mit verticaler Scheidewand aus Bein dient als Commutator. Die beiden von einander isolirten Quecksilberfüllungen sind nämlich einerseits mit den Poldrähten in Verbindung, andererseits tauchen in dieselben die Platindrähte *q* und *o*, welche den Strom dem beweglichen Elektromagneten *H K* zuführen, dessen Pole daher bei jeder Umdrehung zweimal gewechselt werden. Auf dem Wege dahin passirt jedoch der Strom einen Apparat, der als Regulator der Geschwindigkeit zu fungiren hat.

E E ist ein Querarm, welcher am Ende des Trägers ζ den um das Scharnier *l* drehbaren Arm *u* trägt, an dessen unterem Ende das abgerundete Gewicht *g* befestigt ist. Dieses Gewicht wird bei der Drehung durch Centrifugalkraft von der Axe entfernt, durch die Spiralfeder λ jedoch so lange zurückgehalten, bis die Geschwindigkeit das zulässige Maximum überschreitet. Durch Drehung des Schraubenkopfs *L* kann die Spiralfeder mehr oder weniger gespannt und der Grad der Spannung an einer Eintheilung bei δ und auf der Trommel *O* abgelesen werden.

Der vom Quecksilbernapf *b* kommende Leitungsdraht *q* ist nun mit dem Metallstücke *z* in leitender Verbindung. Von dort geht der Strom auf das Gewicht *g*, dann über *u*, *l*, *w*, *v* durch die Windungen von *H* und *K* zurück nach *t''* und von dort über *o* in die andere Abtheilung des Quecksilbernapfes zurück. Sobald jedoch die Geschwindigkeit zu gross wird, entfernt sich das Gewicht *g* von der Platte *z*, wodurch der Strom unterbrochen wird, worauf die Geschwindigkeit sofort nachlassen muss. Damit zwischen *z* und *g* keine Unterbrechungsfunken auftreten, ist endlich noch zwischen *t''* und *t'''* eine Nebenschliessung mit grossem Widerstande in Form zweier mit Chlorcalciumlösung gefüllter Glascylinder eingeschaltet. Die metallischen Bodenfassungen dieser beiden Glascylinder sind unter sich metallisch verbunden. Damit die Flüssigkeit

nicht herausgeschleudert werde, sind die Glasgefässe mit ihren Mündungen gegen die Axe schief gestellt. Zwei Platindrähte führen von der Hauptleitung in die Lösung hinein. Wird daher zwischen z und g der Strom unterbrochen, so geht der Oeffnungsstrom (siehe unten) statt durch die Luft durch die Nebenschliessung, welche durch die Chlorcalciumlösung gebildet wird. Dieselbe kann übrigens auch durch einen genügend grossen Drahtwiderstand ersetzt werden.

Nach dieser Beschreibung ist die Wirkungsweise des Apparates selbstverständlich. Mittelst 1 bis 2 Elementen, deren Pole mit R und T verbunden sind, werden die Elektromagnete X und Y sammt ihren halbkreisförmigen Fortsätzen S und N bleibend magnetisch. Die Pole einer anderen Batterie von 3 bis 4 Elementen werden mit den Abtheilungen des Quecksilbernapfes b verbunden und deren Strom magnetisirt die inneren Elektromagnete H und K stets im rechten Momente so, dass eine continuirliche Rotation entsteht. Soll dieselbe mit möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgen, so wählt man den Strom der Batterie nur wenig stärker, als hinreicht, um jene Geschwindigkeit zu erzielen, bei welcher das Gewicht g abgezogen wird. Je stärker man die Spiralfeder λ spannt, desto grösser wird natürlich diese Geschwindigkeit.

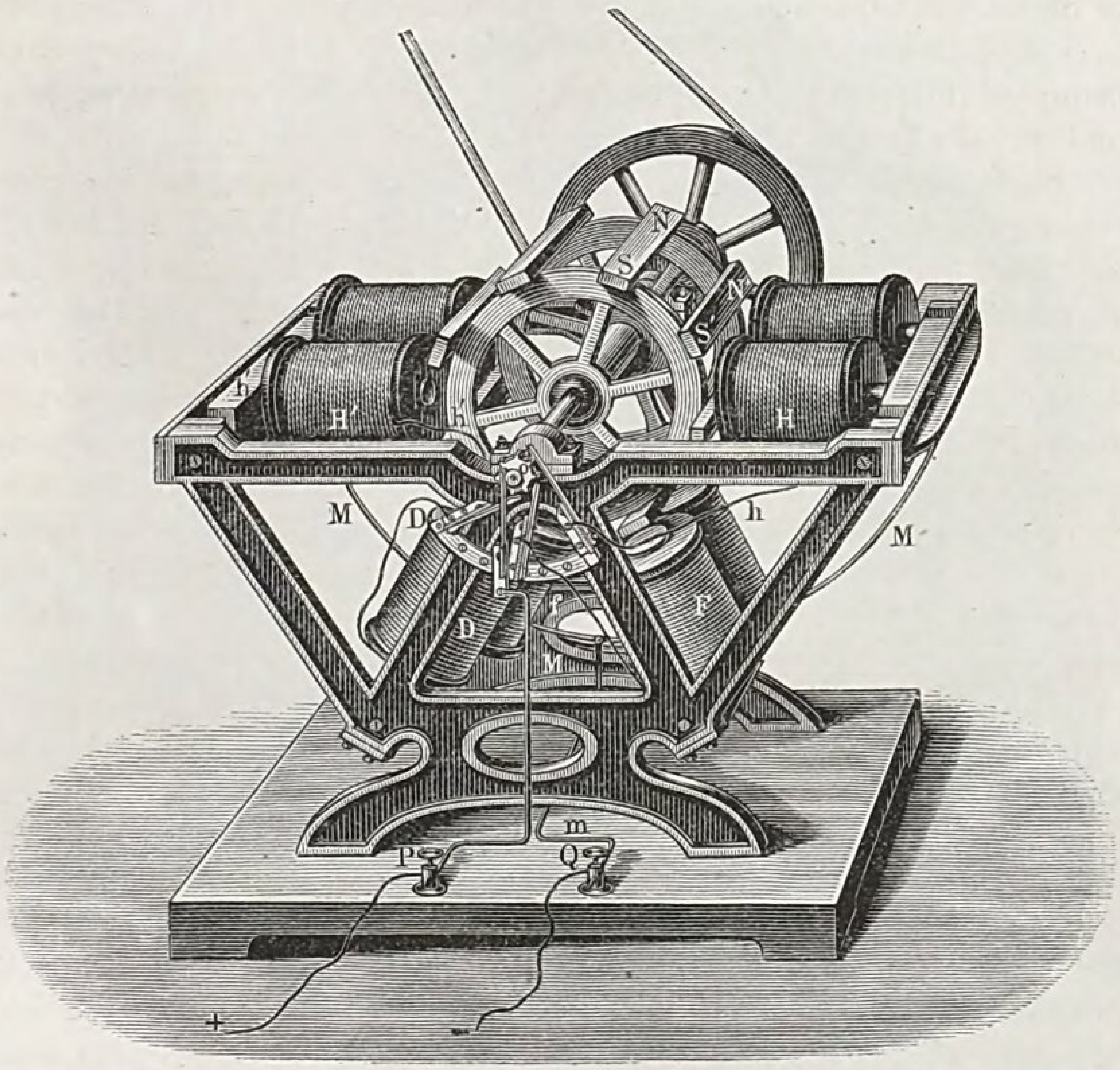
Unter den auf Ankeranziehung beruhenden, also der Gruppe Ia angehörenden elektromagnetischen Maschinen scheint die von Froment construirte recht zweckmässig zu sein. Fig. 450 giebt eine perspectivische Ansicht derselben, Fig. 451 ein Schema des Verticaldurchschnittes, Fig. 452 eine vergrösserte Abbildung der Stromsteuerung. Man betrachte zunächst Fig. 451.

Am Umfange eines um die Axe o drehbaren Rades sind in gleichen Abständen 8 Anker aus weichem Eisen parallel zur Axe befestigt, deren Projectionen auf die Zeichnungsaxe durch α, β, γ, δ etc. dargestellt sind.

Um dieses Ankerrad herum sind an einem festen Gestelle 6 Hufeisenelektromagnete angebracht, deren Projectionen in H, F, D, H', F', D' . . . erscheinen. Da je zwei Anker um $\frac{1}{8}$ des Umfanges, je zwei Magnete um $\frac{1}{6}$ des Umfanges von einander abstehen, so folgt, dass, wenn ein Anker einem Elektromagnet gerade gegenübersteht, die benachbarten Anker von ihren nächsten Magneten um $\frac{1}{6} - \frac{1}{8} = \frac{1}{24}$ der Peripherie, also um 15 Grade abstehen. Es ist nun die Anordnung so getroffen, dass in diesem Moment der elektrische Strom die Magnete F und F' umkreist. Indem diese die Anker β und β' anziehen, drehen sie das Rad um 15 Grade, worauf nun der Strom statt durch F und F' durch die Windungen von D und D' geleitet wird. In dieser Weise kommen bei jeder ganzen Umdrehung des Rades 24 Anziehungen zu Stande. Die Stromsteuerung hat nun folgende Einrichtung: Die Axe des Rades trägt an ihrem Ende ein kleineres Rad mit 8 Zähnen, welche den Ankern α, β, γ . . ., entsprechen und zugleich mit diesen sich herumbewegen. Auf diesen Zähnen schleifen drei Federn h, f, d, deren Auflage-

stellen um $\frac{1}{6}$ der Peripherie von einander entfernt sind, deren Stellungen also den Magneten H, F, D etc. entsprechen. Der Strom wird nun

Fig. 450.



durch das an der Axe anliegende Stück AB, Fig. 452, zugeführt, geht von dort durch einen der Zähne auf die anliegende Feder und wird durch diese

Fig. 451.

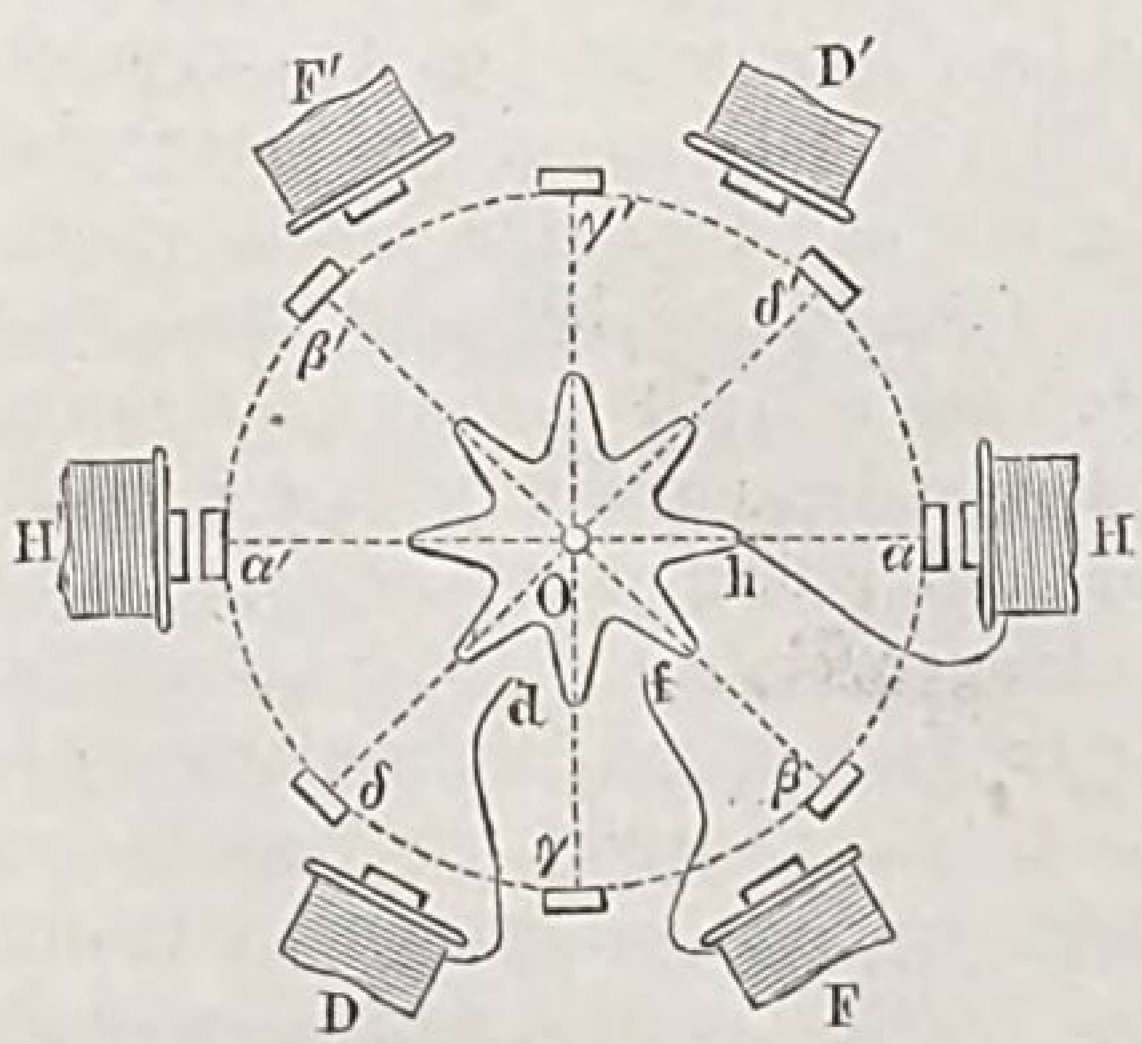
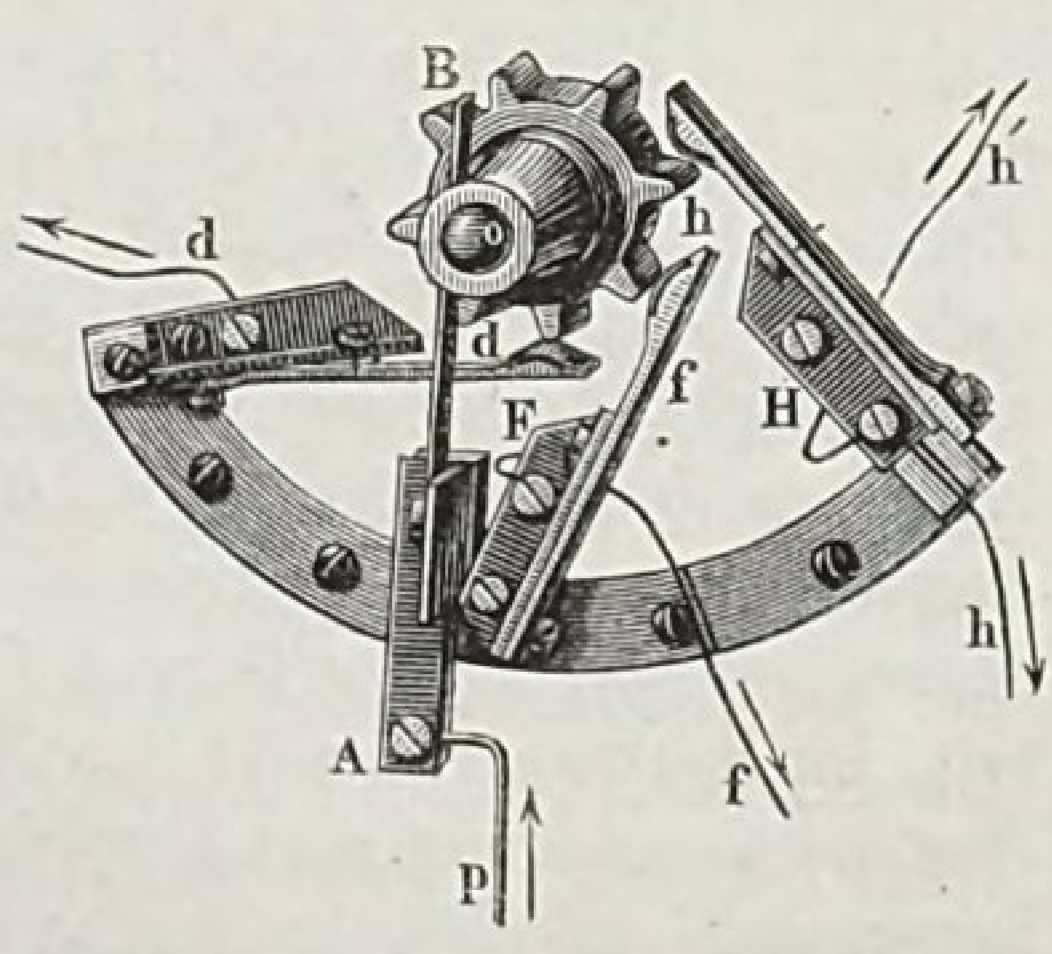
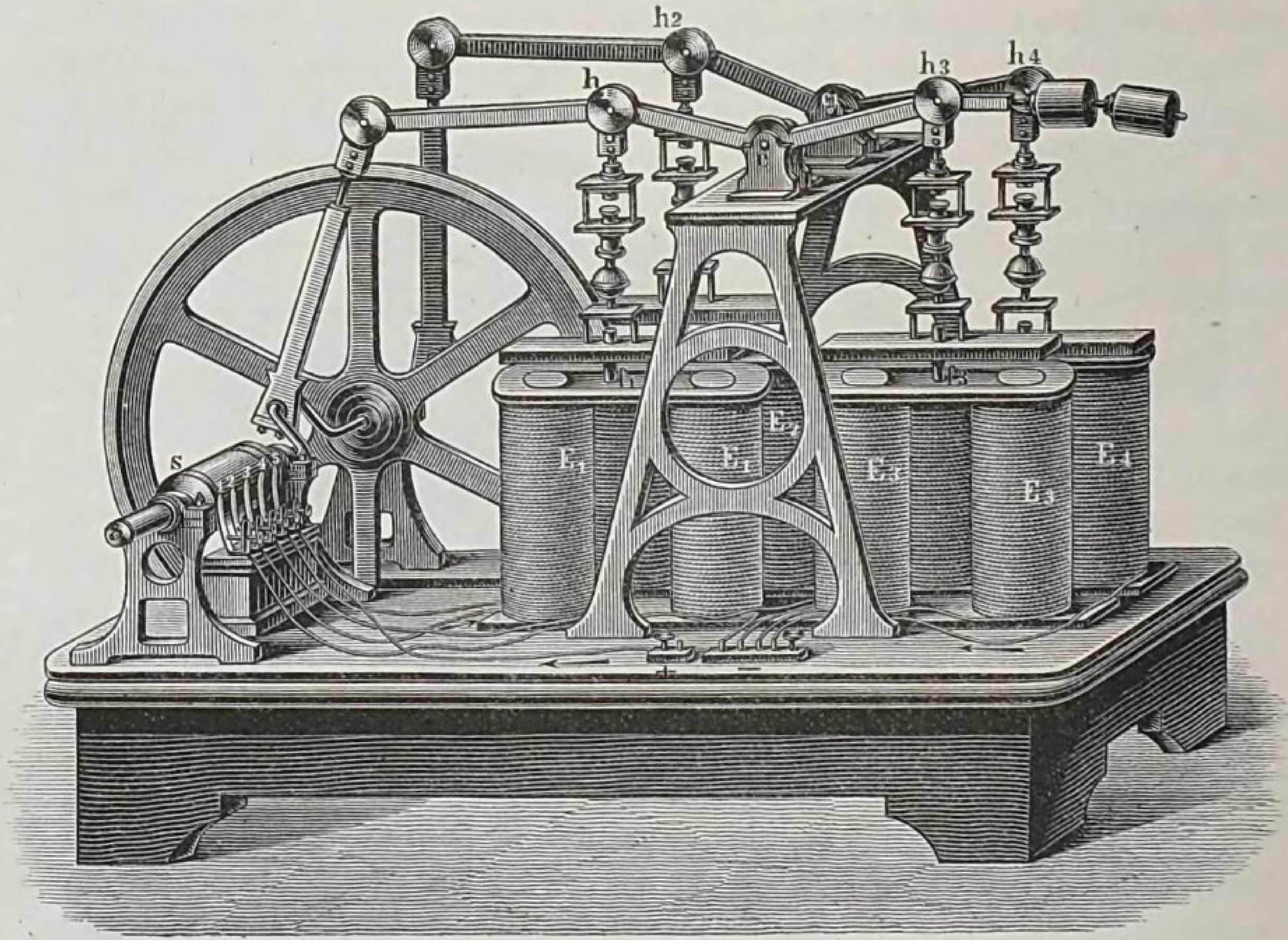


Fig. 452.



den mit den gleichnamigen grossen Buchstaben bezeichneten beiden Elektromagneten zugeführt, von wo er zur Batterie zurückkehrt. Die Auf-

Fig. 453.



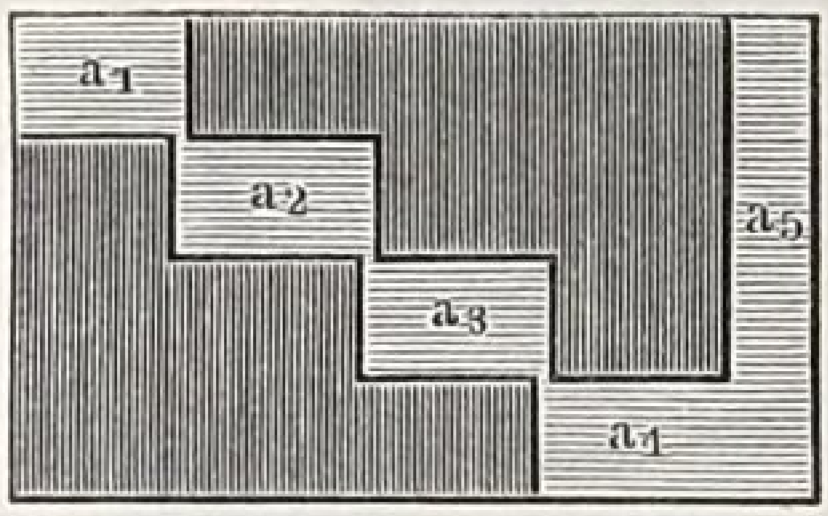
lagestellen der Federn sind mit Platin überkleidet und so geformt, dass immer die nächste Feder in Berührung kommt, sobald die vorige den Zahn verlässt.

Die perspectivische Zeichnung Fig. 450 zeigt eine Maschine, in welcher die Elektromagnete F' und D' fehlen, da sie entbehrlich sind. Ein Schwungrad mit Riemenscheibe dient zur Uebertragung der Bewegung.

Als besonders günstig bezüglich des Nutzeffectes hat sich nach den Messungen von R. Handmann die Construction des von Martin Egger in Mariaschein erfundenen Motors, welcher in Fig. 453 abgebildet ist, herausgestellt. Derselbe besteht aus 4 Hufeisenelektromagneten E_1, E_2, E_3, E_4, welche in Rechteckform, wie aus der Figur ersichtlich ist, mit den Polen nach aufwärts auf einer Grundplatte befestigt sind. Die zugehörigen Anker aus weichem Eisen sind mittelst freibeweglicher Gehänge an den Punkten h_1, h_2, h_3, h_4 der beiden um die Axen c, c_1 drehbaren Hebel angehängt und ausserdem mit Führungen f_1, f_2, f_3, f_4 versehen. Mittelst Pleuel- und Kurbelstangen stehen diese beiden Hebel mit der Schwungradwelle des Motors in Verbindung, auf welcher auch die Stromsteuerung s angebracht ist. Letztere besteht aus einer Walze, gegen welche 5 Metallfedern angedrückt sind, so dass sie neben einander über die Oberfläche derselben schleifen. Denkt man sich diese Oberfläche

in eine Ebene abgewickelt, so hat dieselbe die in Fig. 454 abgebildete Gestaltung. Die Flächenstücke a_1, a_2, a_3, a_4 und a_5 sind metallisch leitend, das Uebrige isolirend. Der von der Batterie kommende Strom wird nun durch die Feder 5 auf die Fläche a_5 und von da auf alle anderen 4 leitenden Flächenstücke geführt und geht dann bei Drehung der Walze der Reihe nach auf die Federn 1, 2, 3, 4 über, welche denselben dann nach einander den Elektromagneten E_1, E_2, E_3, E_4 zuführen. Die anderen Enden der Windungen führen dann den Strom zur Batterie zurück. Durch Kautschukringe, welche die oberen Enden der Elektromagnete umgeben, wird verhindert, dass die Anker zur unmittelbaren Berührung der Pole gelangen. Ueber den Nutzeffect dieses elektromagnetischen Motors werden wir später Mittheilung machen.

Fig. 454.



Elektromagnetische Motoren; Systeme, welche auf der 154
Wirkung von Stromspiralen auf Magnetpole beruhen. Die im vorigen Paragraphen beschriebenen der Gruppe I der elektromagnetischenMotoren angehörigen Apparate leiden sämmtlich an dem Uebelstande, dass die Pole der Elektromagnete nicht schnell genug ihren Magnetismus verlieren, wenn der Strom aufhört, was insbesondere dann, wenn die Pole ihren Magnetismus in den entgegengesetzten wechseln sollen (Gruppe I b), in erhöhtem Grade hinderlich ist.

Selbst das weichste Eisen hält nach Unterbrechung des Stromes noch einige Zeit Magnetismus zurück; je grösser die Eisenmasse ist, desto träger ist sie in dieser Beziehung und daher kommt es auch, dass grössere derartige Apparate verhältnissmässig schlechtere Resultate geben als kleinere Modelle.

Dieser Uebelstand ist bei der zweiten Gruppe von elektromagnetischen Motoren zu vermeiden, bei welchen man den elektrischen Strom in der wirksamen Spirale momentan umkehren kann.

Ein in diese Gruppe, Unterabtheilung b, gehöriger Apparat ist der von Stöhrer construirte und in Fig. 455 (a. f. S.) abgebildete.

A und *B* sind zwei längliche Rahmen, welche aus übersponnenem Kupferdraht gebildet sind, der ungefähr 2 mm im Durchmesser hat. Die Drahtwindungen, welche den oberen Rahmen bilden, sind durch ein kurzes Drahtstück mit denen des unteren verbunden, so dass der Strom aus dem oberen Rahmen in den unteren übergeht; die Windungen beider Rahmen sind der Art, dass ein elektrischer Strom beide in gleicher Richtung durchläuft.

Zwischen dem oberen und dem unteren Drahtrahmen ist ein solcher Zwischenraum gelassen, dass die Umdrehungsaxe des Elektromagnets *C* sich frei bewegen kann.

Der Eisenkern des Elektromagnets ist an jedem Ende mit einer Eisenplatte versehen, welche einestheils die Drahtwindungen des Elek-

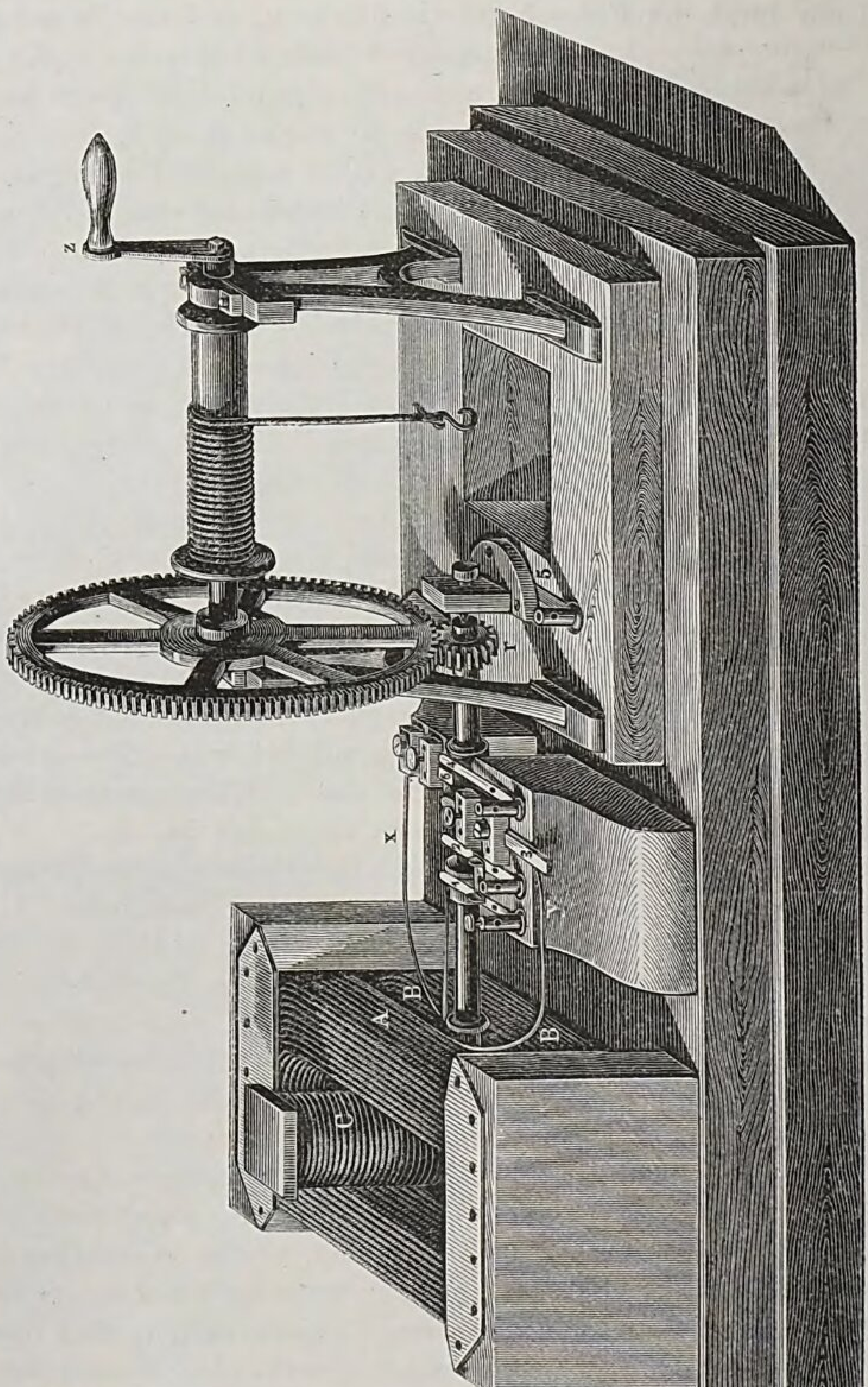


Fig. 455.

tromagnets hält, anderentheils aber auch sehr zur Verstärkung der Wirkung beiträgt.

Wenn gleichzeitig ein Strom durch die Windungen der Rahmen A und B und durch die Windungen des Elektromagnets C hindurchgeht, so wird sich der Elektromagnet rechtwinklig stellen zur Ebene der Rahmen; und zwar wird, je nach der Richtung des Stromes in den Rahmen, ein bestimmter Pol des Elektromagnets sich nach oben kehren. Bliebe der Strom in den Rahmen ungeändert, so würde der Elektromagnet in dieser Gleichgewichtslage nach einigen Oscillationen zur Ruhe kommen; wird aber der Strom in den Rahmen in demselben Moment umgekehrt, in welchem der Magnet seine verticale Stellung erreicht, so wird nun die Rotation fortdauern müssen, denn bei der neuen Stromrichtung in den Rahmen kann der Elektromagnet nicht eher zur Ruhe kommen, als bis der eben oben angekommene Pol gerade nach unten gerichtet ist; es wird also eine beständige Rotation des Elektromagnets stattfinden müssen, wenn nach jeder halben Umdrehung desselben der Strom in den Rahmen umgekehrt wird, während die Polarität des Elektromagnets ungeändert bleibt.

Sehen wir nun, wie der Strom durch den Apparat hindurchgeleitet wird.

Die Umdrehungsaxe des Elektromagnets läuft zwischen zwei Stahlspitzen, von denen nur die eine in unserer Figur sichtbar ist. Diese Spitze steckt mit einem Schraubengewinde in einem Messingpfeiler, dessen Fuss fest auf den Boden aufgeschraubt ist, so dass eine innige Berührung zwischen diesem Messingfusse und dem Kupferstreifen 5 stattfindet, auf dessen vorderem Ende ein Messingsäulchen sitzt. In dieses Säulchen kann der eine Poldraht einer galvanischen Kette eingesteckt und mittelst einer Schraube festgeklemmt werden. (Die Schraube ist in der Figur weggelassen worden; dies Säulchen und seine Schraube sind dem auf der Feder 1 stehenden ganz gleich.)

Der Strom tritt also durch dies Säulchen und den Kupferstreifen 5 in den Apparat ein, geht durch die Spitze in die Umdrehungsaxe über, durch welche er zum Eisenkern des Elektromagnets gelangt. Auf diesen Eisenkern ist nun das eine Drahtende der Spirale aufgeschraubt, welche um den Eisenkern herumgewunden ist; das andere Ende dieser Spirale ist zu dem alsbald näher zu betrachtenden Commutator geleitet. Der Strom geht also aus dem Eisenkern des Elektromagnets in die Windungen desselben, und nachdem er dieselben durchlaufen hat, gelangt er zum Commutator, welcher bewirkt, dass die Richtung des in die Windungen der Rahmen geleiteten Stromes nach jeder halben Umdrehung in denselben umgekehrt wird.

Die Einrichtung dieses Commutators ist aus Fig. 456 (a. f. S.) deutlicher zu ersehen. Das eine Ende der Drahtwindungen des Elektromagnets ist auf die Metallhülse g, Fig. 456, aufgeschraubt, welche, wie auch die kupfernen Hülsen i und k, durch eine hölzerne Hülse, auf der sie stecken, vor metallischer Berührung mit der eisernen Axe geschützt ist. Die Hülse g trägt den ganz kreisförmigen metallischen Kamm h; an dem hinteren

Ende der Hülse i befindet sich der ganze kreisförmige Kamm l, auf der vorderen Seite von i ist der Kamm m befestigt, welcher jedoch nur einen Halbkreis bildet. Der halbkreisförmige Kamm n, welcher gleichsam die Fortsetzung von m bildet, ist durch die Hülse k mit dem ganz kreisförmigen Kamm o in leitender Verbindung, aber durch eine isolirende Substanz von m und i getrennt, wie man dies in Fig. 457 deutlicher sieht. In Fig. 456 sind der Deutlichkeit halber die Dimensionen von vorn nach hinten bedeutend vergrössert aufgetragen; ferner sind die Federn 1, 2, 3, 4 und 6 als von den Kämmen, auf denen sie schleifen sollen, weggerückt gezeichnet.

Fig. 456.

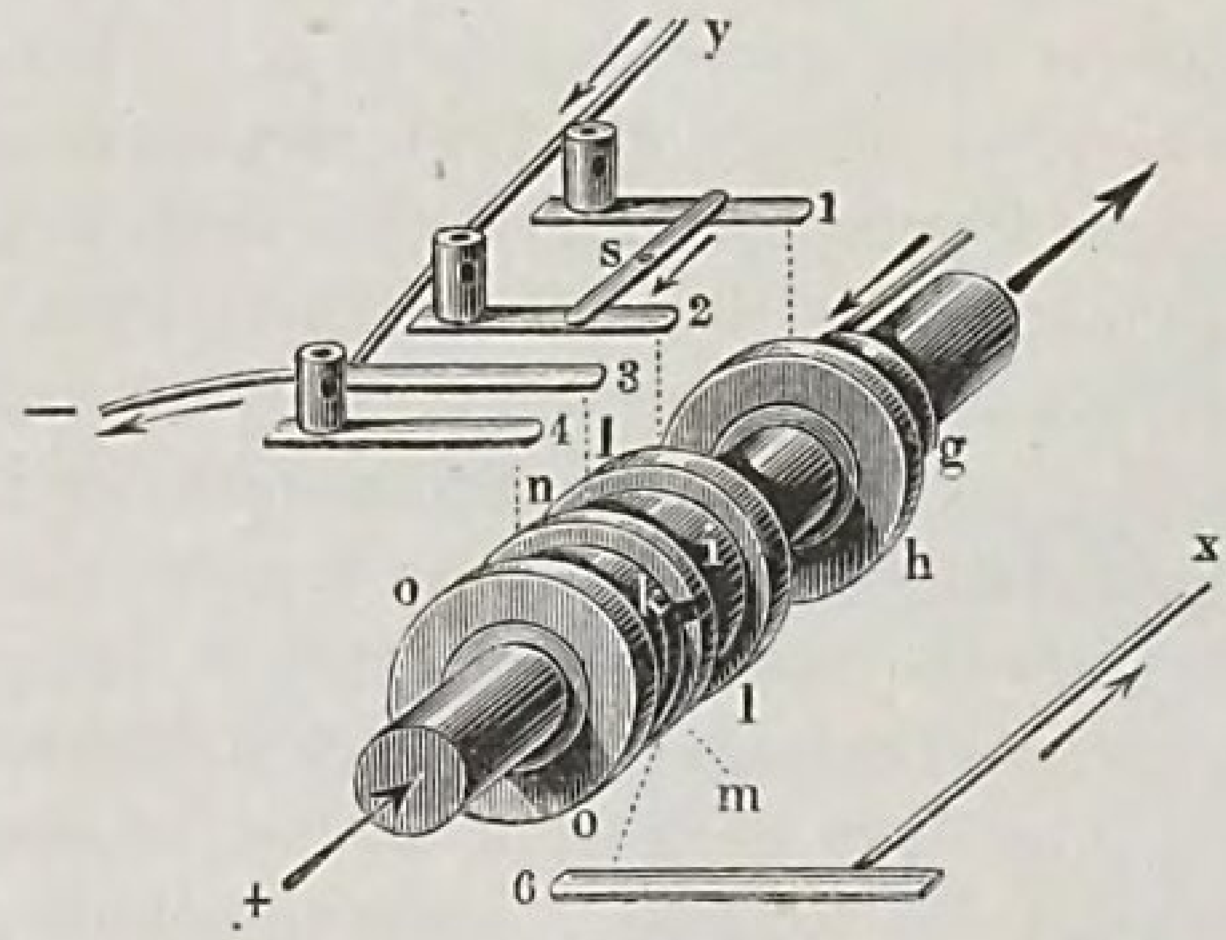
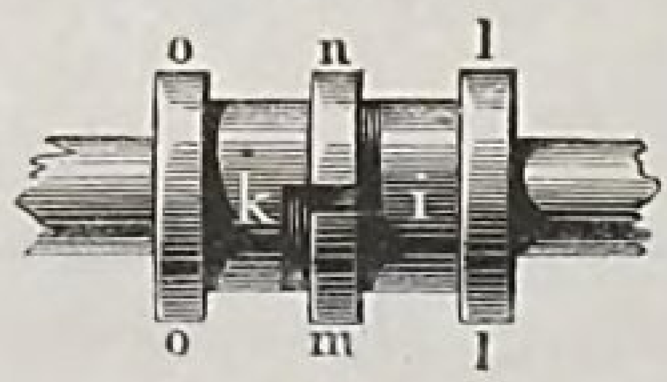


Fig. 457.



Auf h schleift die Feder 1, auf l die Feder 2, auf o die Feder 4. Die Feder 3 schleift oben, die Feder 6 schleift unten an dem aus den Theilen m und n bestehenden mittleren Kamm und zwar so, dass n und 3 in Berührung sind, wenn m und 6 sich berühren; wenn aber während der Rotation m mit 3 in Berührung kommt, so kommt unten n mit 6 in Berührung.

Nehmen wir an, der positive Pol der Kette sei in das Säulchen des Streifens 5, der negative Poldraht in das Säulchen der Feder 4 eingeschraubt, so geht der positive Strom, nachdem er den Elektromagnet umkreist hat, nach g und h, von da durch die Feder 1 und den kupfernen Querstreifen s auf die Feder 2, dann nach l, i und m; der halbkreisförmige Kamm m ist also gleichsam ein + Pol; von m geht der positive Strom auf diejenige der Federn 6 oder 3 über, die er gerade berührt.

Der negative Strom tritt durch die Feder 4 ein und gelangt von da über o und k nach n, so dass also n gleichsam der negative Pol der Kette ist.

Wenn m gerade mit 6, n aber mit 3 in Berührung ist, so tritt der positive Strom von 6 aus durch den Draht x in die Windungen der Rahmen ein, und gelangt, nachdem er diese Windungen durchlaufen hat, durch den Draht y und die Feder 3 nach n; nach einer halben Umdrehung aber kommt m mit 3 in Berührung, jetzt tritt der positive Strom durch die Feder 3 und den Draht y in die Windungen der Rahmen ein, durch x und 6 aber aus, bei jeder halben Umdrehung der Axe findet also eine Umkehrung der Stromrichtung in den Rahmen statt, wodurch denn die fortdauernde Rotation des Elektromagnets bewerkstelligt wird.

An der Umdrehungsaxe des Elektromagnets ist das kleine Zahnrad *r*, Fig. 455, S. 512, befestigt, welches in ein grösseres eingreift. Um die Axe dieses grösseren Zahnrades ist eine Schnur geschlungen, an welche ein passendes Gewicht gehängt werden kann, welches dann durch die Rotation des Elektromagnets gehoben wird.

Sollte der Apparat nur zu dem oben angegebenen Zwecke dienen, so könnte er etwas einfacher sein; *g*, *h* und der Kamm *l* nebst den Federn 1 und 2 könnten ganz wegbleiben, und der vom Elektromagnet kommende Kupferdraht direct mit der Metallhülse *i* verbunden sein. Bei der Einrichtung, welche der Apparat jetzt hat, lässt er sich aber auch noch zu anderen Versuchen anwenden, welche erst später besprochen werden können.

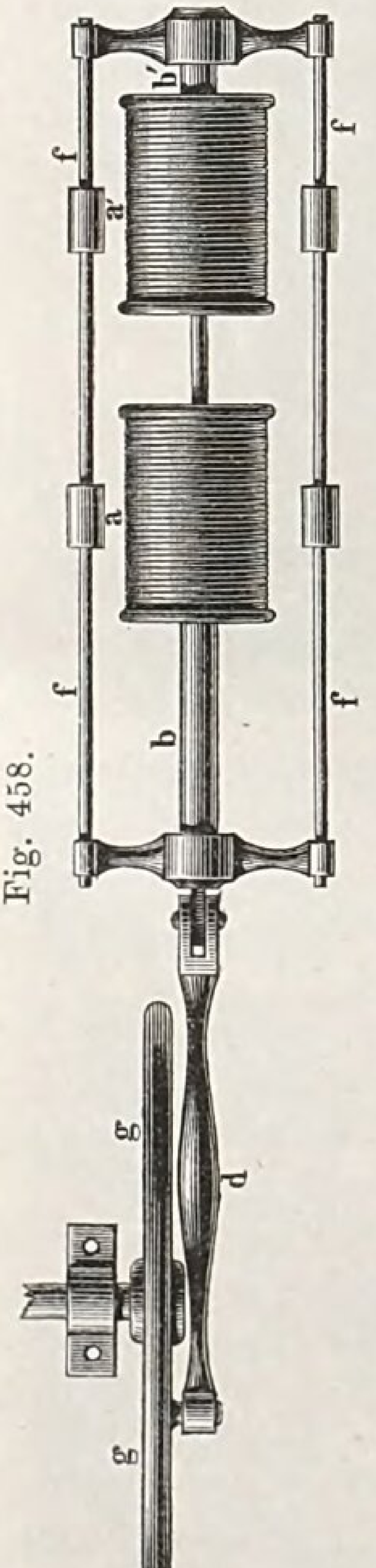


Fig. 458.

Die wichtigsten elektromagnetischen Motoren gehören in die Gruppe II a. Bei denselben wird die Anziehung einer Spirale auf einen Eisenkern längs der Axe ausgenützt.

Der erste hier zu erwähnende Apparat ist der des Amerikaners **Page**, dessen Construction durch Fig. 458 erläutert wird.

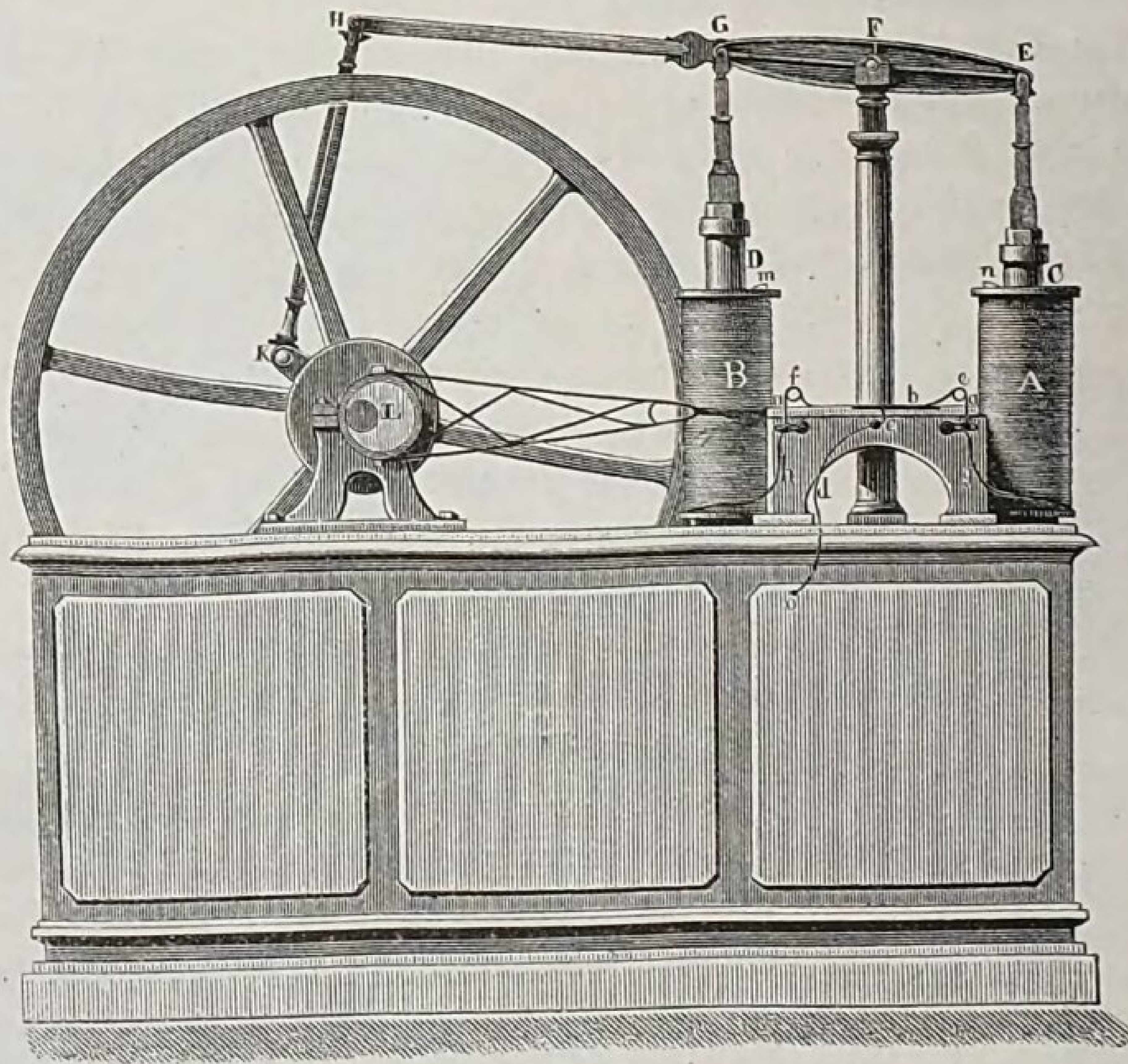
Auf einem Brett sind in horizontaler Lage zwei Magnetisirungsspiralen *a* und *a'* so befestigt, dass ihre Axen genau in dieselbe gerade Linie fallen. Die beiden Eisenstäbe *b* und *b'*, durch ein Messingstäbchen mit einander verbunden, sind an dem beweglichen Rahmen *ff* befestigt, welcher ihnen zur Führung dient. Geht ein Strom durch *a'*, so wird *b'* nach der Linken gezogen; sobald der Stab *b'* ganz in *a'* hineingeschoben ist, wird der Strom in *a'* unterbrochen, während er durch *a* zu laufen beginnt. *b* wird jetzt in die Spirale *a* hineingezogen, während *a'* nicht mehr auf *b'* wirkt; ist die Bewegung nach der rechten Seite hin vollendet, so tritt abermals ein Stromwechsel ein, und so wird eine hin- und hergehende Bewegung erzeugt, welche durch die Triebstange *d* dem Schwungrad *g* eine rotirende Bewegung mittheilt.

Die Vorrichtung zum Stromwechsel ist an der Schwungradwelle angebracht. Diese sowie die Drahtleitungen sind in der Zeichnung weggelassen.

Als eine Varietät des **Page**'schen Apparates kann man den in Fig. 459 (a. f. S.) dargestellten betrachten, welcher in seinem Aeusseren die Dampfmaschine gleichfalls nachahmt, wie der vorige. Die beiden Spiralen stehen vertical. Dadurch, dass abwechselnd der Eisenkern *C* und dann wieder der Eisenkern *D* in seine Spirale hineingezo-

gen wird, wird der Balancier GE in Bewegung gesetzt, dessen auf- und niedergehende Bewegung durch Pleuelstange und Kurbel in eine roti-

Fig. 459.



rende Bewegung verwandelt wird. An der Umdrehungsaxe befindet sich ein Schwungrad und eine excentrische Scheibe, deren Gestänge mit einem Schieber endigt, durch dessen Hin- und Hergehen abwechselnd die Spirale A und dann wieder die Spirale B in den Schliessungsbogen der Batterie gebracht wird.

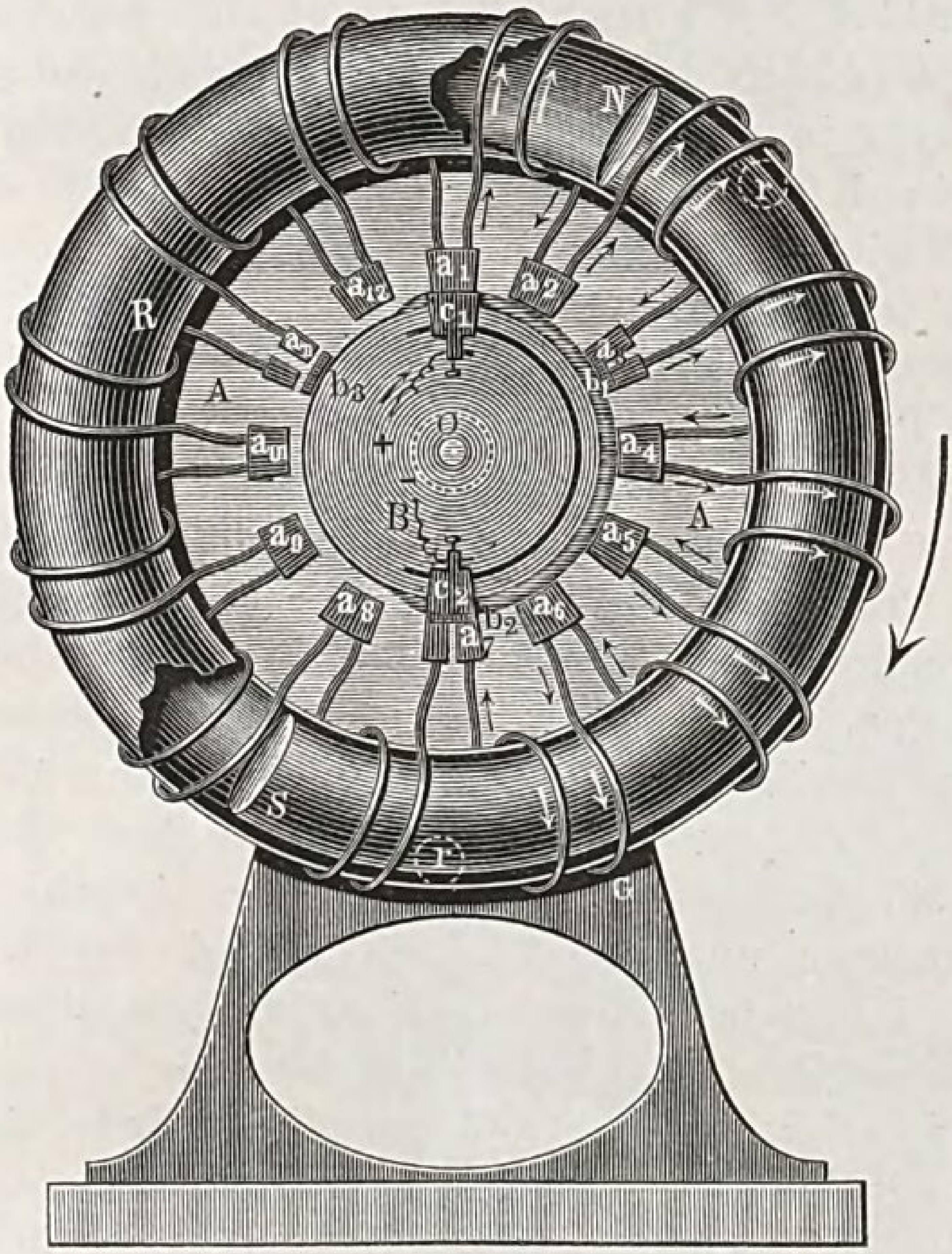
Dub hat eine ähnliche Construction ausgeführt, wobei statt der einfachen Wirkung einer Spirale auf einen Kern eine solche Anordnung benutzt wird, wie sie bei dem Elektromagnet von Romershausen (§. 150, Fig. 444) beschrieben wurde (Dub's Elektromagnetismus).

Mechaniker Kravogl in Wilten bei Innsbruck hat im Jahre 1867 einen elektromagnetischen Motor erfunden und ausgeführt, welcher nach den Messungen von A. v. Waltenhofen die besten bis dahin construirten Apparate dieser Art an Nutzeffect um das Achtfache übertraf und auch durch die Eigenthümlichkeit seiner Construction Interesse erregt. Wir geben hier statt einer genauen Zeichnung eine ideal gehaltene Abbildung, aus welcher die Construction deutlicher zu ersehen ist (Fig. 460).

Auf dem Gestelle G ist um eine horizontale Axe O eine Scheibe A aus isolirendem Materiale drehbar, welche an ihrem Umfange einen hohlen Messingring R trägt, der in der Figur in aufgerissenem Zustande dargestellt ist. Innerhalb dieses Messingsringes ist ein bogenförmiges

Stück weichen Eisens NS auf Frictionsrollen $r\,r$ verschiebbar. Wir wollen vorläufig annehmen, dass dieses Eisenstück, wie in der Zeichnung, die halbe Länge des hohlen Ringes ausfülle. Der Messingring ist nun von einer Anzahl Spulen mit isolirendem Kupferdraht umgeben, dessen Windungen sämmtlich in demselben Sinne spiralförmig den Ring umkreisen. In der Zeichnung ist jede Drahtspule durch zwei Windungen repräsentirt. Die Drahtenden aller Spulen sind in der aus der Figur ersichtlichen Weise zu je zweien an isolirte Kupferprismen $a_1, a_2, \ldots a_{12}$ angelöthet. Hierdurch würde aus allen Drahtwindungen eine einzige in sich geschlossene ringförmige Spirale entstehen, wenn nicht drei gleich weit abstehende Kupferprismen a_3, a_7 und a_{11} gespalten wären.

Fig. 460.



Vor diesen drei gespaltenen Prismen befinden sich jedoch die durch Federkraft gegen die Ringmitte abgezogenen Kupferstücke b_1, b_2, b_3, welche wir Ueberbrückungsfedern nennen wollen. In der Figur befindet sich b_3 in der abgezogenen Lage, b_1 und b_2 sind eben an das gespaltene Prisma angedrückt und heben daselbst die Unterbrechung auf. Endlich ist auf derselben Axe O noch die Scheibe B aufgesteckt, jedoch so, dass sie in beliebiger Lage festgeklemmt werden kann und an der Rotation des Ringes nicht Theil nimmt. Auf derselben sind die beiden isolirten kupfernen Zuleitungsstücke c_1 und c_2 längs eines concentrischen Schlitzes beliebig verstellbar. Sie werden ausserdem durch Federkraft an die Kupferprismen angedrückt. Wir nehmen vorläufig an, dass die Zuleitungsstücke die in der Figur dargestellte Lage haben. Zwischen c_1 und c_2 ist auf der rechten Seite der Rand der Scheibe B wulstartig vorspringend, wodurch jede auf diese Seite an oder zwischen c_1 und c_2 zu stehen kommende Ueberbrückungsfeder angedrückt wird. Verbindet man daher die Pole einer Batterie mit den Zuleitungsstücken, so geht der bei c_1 eintretende positive Strom über a_1 durch die erste Spule nach a_2, von dort durch die zweite Spule nach a_3, dessen Brücke b_1 ge-

schlossen ist, und so fort in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung bis zum Prisma a_7 und über c_2 zur Batterie zurück. Auf diese Weise bildet die ganze rechtsseitige Hälfte des Ringes eine zusammenhängende Spirale. Das weiche Eisenstück SN nimmt im Anfange eine Ruhelage symmetrisch zum Verticalquerschnitt des Apparates ein, so dass also die rechtsseitige Hälfte des Eisens in die untere Hälfte der durchflossenen Spirale hineinragt. Hierdurch entsteht am rechtsseitigen Ende ein Nordpol und das Eisenstück wird in die Spirale hineingezogen respective gehoben. Da aber die Schwerkraft das Eisen nach abwärts zieht, so wird hierdurch auch die Spirale nach abwärts gezogen und der Ring zur Rotation im Sinne des Pfeils gezwungen. Da die Zuleitungsstücke c_1 und c_2 an dieser Rotation nicht Theil nehmen, sondern stehen bleiben, so werden oben immer neue Spulen in den Strom eingeschaltet, unten dagegegen ausgeschaltet. Durch Verdrehen der Scheibe B nach rechts können die vom Strom durchflossenen Spulen in die wirksamste Stellung gegenüber der neuen Lage des gehobenen Eisenkernes gebracht werden. Durch Verstellen der Zuleitungsstücke c_1 und c_2 kann überdies die Anzahl der eingeschalteten Spulen modificirt werden. Eine nähere Ueberlegung ergiebt, dass es vortheilhaft ist, ihre Anzahl zu vermindern, und den Eisenkern nur ungefähr ein Drittel des Umfanges lang zu wählen. Da stets mindestens eines der gespaltenen Prismen und zwar mit offener Brücke auf die linke Seite zwischen c_1 und c_2 zu liegen kommt, so bleibt der Strom auf dieser Seite stets unterbrochen. Hierdurch wird eine schädigende Nebenschliessung vermieden und, falls ein Theil des Eisenkernes in die linke Hälfte hinüberragen würde, eine schädliche Einwirkung auf diesen Theil verhindert. Kravogl hat den Eisenkern durch Ausgiessen mit Blei beschwert, um ihn in tieferer Lage zurückzuhalten und ausserdem noch den ganzen Ring sammt Spulen allseitig mit einem in der Figur nicht angedeuteten Eisenmantel umgeben, welcher an der Rotation Theil nimmt. Da dieser Eisenmantel durch Influenz von Seite der Pole des Eisenkerns ebenfalls magnetisch wird, und seine entgegengesetzten Pole trotz der Rotation in der Stellung neben den Polen des inneren Eisenstückes erhält, so dass also die Windungen zwischen den entgegengesetzten Polen eines magnetischen Kerns und einer magnetischen Röhre hindurchgehen, so erhält man dadurch eine Anordnung, welche der Fig. 444, S. 498 entspricht, eine Art Romershausen'schen Magnet, dessen Wirkung viel kräftiger ist, als die des Kernes allein.

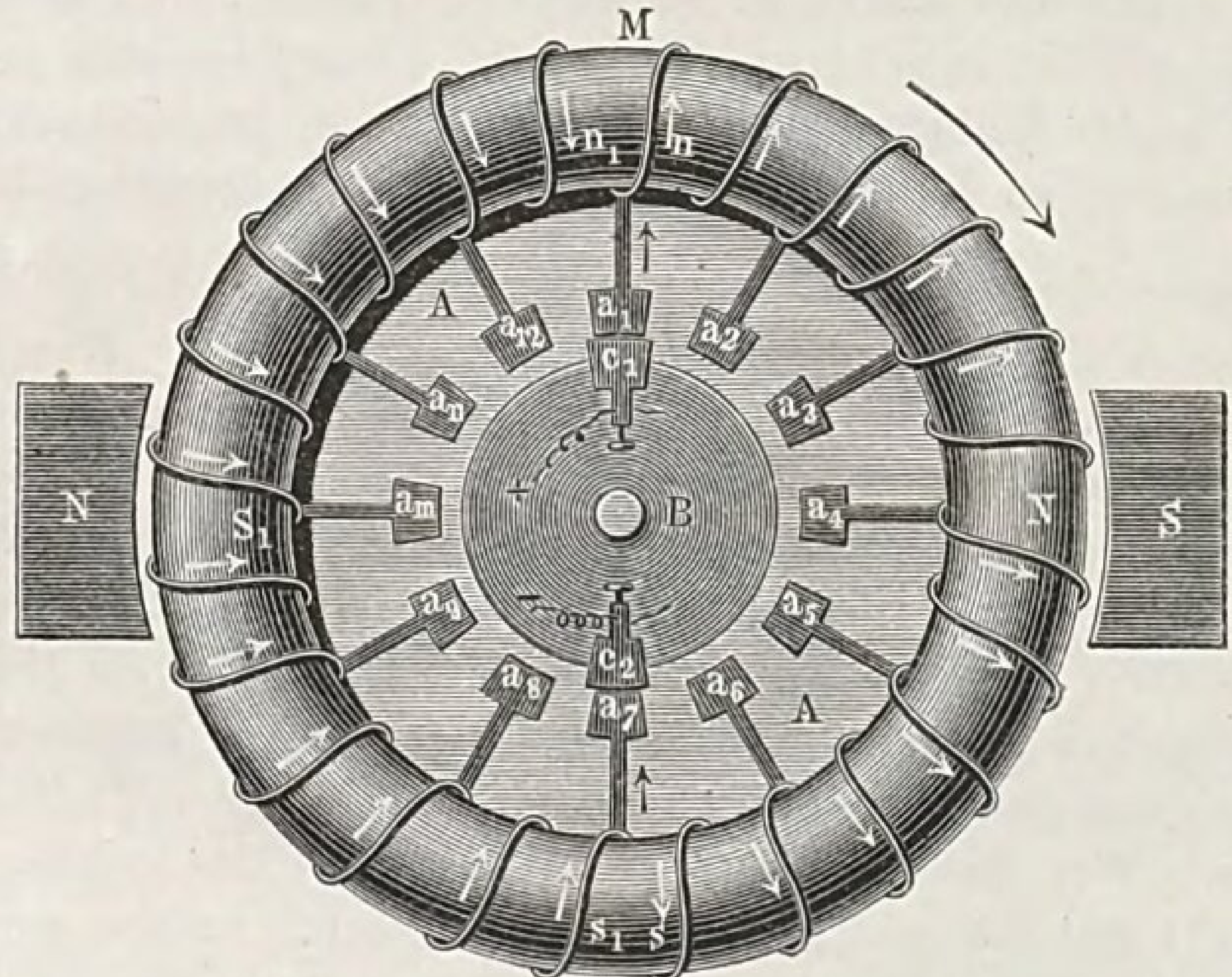
Wie ersichtlich, ist Kravogl's Motor zunächst als eine Fortbildung des Motors von Page anzusehen, dessen hin- und hergehende Bewegung hier in eine continuirlich kreisförmige verwandelt ist. Allein der Kravogl'sche Motor hat, ohne dass der Erfinder es ahnte, auch eine nahe Verwandtschaft mit einem anderen Apparate, welchen der Italiener Pacinotti schon 1860 erfunden und 1864 beschrieben hat, welcher dann 1871 von dem Franzosen Gramme unabhängig neuerdings er-

funden und zu grosser technischer Vollkommenheit gebracht wurde. Auch selbst darin stimmen beide Erfindungen überein, dass Kravogl's Apparat wie seinerzeit jener Pacinotti's in umgekehrter Anwendung zur Erzeugung von continuirlichen Inductionsströmen unter Aufwendung von Arbeitskraft gebraucht wurde, worauf wir in einem späteren Paragraphen zurückkommen werden, wo wir die dynamoelektrischen Maschinen zu behandeln haben.

Wir wollen nun Pacinotti's Apparat in seiner Anwendung als elektromagnetischen Motor beschreiben.

Fig. 461 stellt wiederum eine ideale Abbildung dieses Apparates dar. (Die Abbildung des Originalapparates werden wir im §. 198 nachtragen.) Ein eiserner Ring ist am Umfange einer horizontalen Scheibe AA

Fig. 461.



befestigt und mit dieser um eine verticale (oder auch horizontale) Axe drehbar. Der Ring ist seinem ganzen Umfange entlang mit isolirten Drahtspulen bewickelt, die sämmtlich unter einander in leitender Verbindung stehen und so eine einzige in sich geschlossene ringförmige Spirale bilden. In der Figur ist jede Spule durch ein Paar Umgänge repräsentirt. Jede Spule ist ferner durch ein radienförmiges Drahtstück mit einem der Kupferprismen a_1, a_2 bis a_{12} leitend verbunden. Die feststehende Scheibe B trägt zwei feststehende isolirte Zuleitungsprismen c_1 und c_2, an denen die äusseren Kupferprismen vorbeigleiten, so zwar, dass immer ein folgendes Prisma in Verbindung tritt, bevor das vorherige ausser Berührung kommt. Werden daher die Zuleiter c_1 und c_2 mit den positiven und negativen Polen einer Batterie verbunden, so tritt der positive Strom über das momentan mit c_1 verbundene Prisma (in der Figur a_1) ein, theilt sich an der Spirale in zwei gleich starke Zweigströme, welche in der Richtung der kleinen Pfeile die Win-

dungen durchlaufen, an der gegenüberliegenden Stelle des Ringes wieder zusammentreffen und von dort über c_2 zum Pole zurückkehren. Hierdurch entstehen also zwei stromdurchflossene halbkreisförmige Spiralen und innerhalb derselben zwei Magnete, die sich von oben nach unten erstrecken, einer auf der rechten Seite mit den Polen n, s, einer auf der linken Seite mit den Polen n_1, s_1. Die gleichnamigen Pole sind einander zugekehrt. Eine Bewegung kann dadurch noch nicht hervorgebracht werden. Stellen wir nun aber in N und S ausserhalb des Ringes einen kräftigen Nordpol und Südpol auf, so wirkt der Nordpol N anziehend auf die Südpole s_1 und s, sowie auf die ganze untere südmagnetische Hälfte des Eisenringes, dagegen abstossend auf die Nordpole n_1 und n, sowie auf die ganze obere nordmagnetische Hälfte des Eisenringes. Dagegen wirkt der Südpol S abstossend auf s_1 und s und die ganze zugehörige Ringhälfte, anziehend auf n_1 und n, sowie auf die zugehörige Ringhälfte. Der Eisenring mit Spirale muss daher in der Richtung des Pfeiles zu rotiren beginnen und da die Zuleiter c_1 und c_2 an der Stelle bleiben, muss die Rotation fortdauern.

Man kann den Vorgang aber noch in einer anderen Weise auffassen, wodurch aber dasselbe Resultat gewonnen wird. Man kann sich nämlich vorstellen, dass, bevor noch ein Strom geht, durch die Influenz von Seite der fixen Magnetpole N und S in den nächstliegenden Theilen des Eisenkernes entgegengesetzte Pole entstehen, so dass also bei S_1 ein Südpol, bei N_1 ein Nordpol, bei M und N dagegen Indifferenzpunkte sich bilden. Wir haben dann zwei Magnete, die sich von links nach rechts erstrecken und mit den gleichnamigen Polen zusammenstossen. Würden wir dann den Ring drehen, so blieben dennoch die Pole an derselben Stelle. Wir haben also dann zwei bewegliche Spiralen, welche sich über zwei feststehende Pole bewegen können. Lassen wir nun den Strom wie früher circuliren, so müssen die Spiralen über die Pole weggezogen werden, so zwar, dass der ganze Ring nach rechts rotirt. Das Eigenthümliche des Vorganges beruht darin, dass trotz der Rotation des Eisens die Pole festgehalten bleiben. Beim Kravogl'schen Motor werden ebenfalls die Pole, aber sammt dem Eisenkern und zwar durch die Intervention der Schwerkraft, festgehalten. Denkt man sich in Fig. 460 statt des Elektromagnets NS einen Stahlmagnet mit permanenten Polen, die Zuleiter c_1 und c_2 senkrecht auf die Verbindungslinie der Pole gestellt und die Ueberbrückungsfedern für immer geschlossen, so nähert man sich der Pacinotti'schen Construction. Die letztere hat aber den offenbaren Vortheil für sich, dass sie die ganze Spirale gleichzeitig ausnützt, und dass die Stromleitung einfacher ist.

Die Pole N, S an der Pacinotti'schen Maschine können einem Stahlmagnet oder einem Elektromagnet angehören, im letzteren Falle kann derselbe Strom, welcher den Elektromagnet erzeugt, auch noch durch die Spirale geleitet werden. Wir werden

bei den dynamoelektrischen Maschinen die Wichtigkeit dieses Umstandes kennen lernen.

Mit der Pacinotti'schen Ringmaschine im Wesentlichen übereinstimmend ist die Gramme'sche Maschine; da dieselbe aber seltener als elektromagnetischer Motor als umgekehrt als dynamoelektrische Maschine gebraucht wird, so versparen wir die genauere Beschreibung derselben auf eine spätere Stelle.

Theorie der elektromagnetischen Motoren. Berechnung ihres Wirkungsgrades. 155 Die Grundzüge der Theorie elektromagnetischer Motoren hat Jacobi entwickelt (Krönig's Journal Bd. III, Seite 377). Folgendes ist das Wesentlichste derselben:

Es sei

n die Anzahl der Plattenpaare, welche zur Säule verbunden den Strom liefern, welcher die Maschine treiben soll;

e die elektromotorische Kraft eines Plattenpaares;

ϱ der Gesammtwiderstand,

so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$i = \frac{ne}{\varrho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Wenn nun ein Strom von dieser Stärke in β Windungen einen Eisenkern umkreist, so ist der Magnetismus desselben

$$m = \beta\, i = \frac{\beta\, n e}{\varrho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

denn bei so dicken Eisenkernen, wie sie bei diesen Maschinen in Anwendung kommen, kann man ohne Anstand den Magnetismus der Stromstärke proportional setzen.

Die Kraft, mit welcher zwei solche elektromagnetische Pole sich anziehen oder abstossen, ist dem Producte ihrer Magnetismen proportional, also

$$R = m^2 = \frac{\beta^2 n^2 e^2}{\varrho^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

Dieser Gleichung zufolge kann man bei unveränderten Werthen von n, e und ϱ die zwischen den Polen zweier Elektromagnete stattfindende Anziehung oder Abstossung durch Vergrösserung der Windungszahl β bis ins Unendliche steigern, wenn man nur die Eisenkerne dick genug macht und dafür sorgt, dass bei der Verlängerung des Drahtes auch sein Querschnitt in solchem Verhältnisse wächst, dass der Gesammtwiderstand ϱ unverändert bleibt. — Dadurch glaubte man sich nun zu der Hoffnung berechtigt, dass man den mechanischen Effect einer galvanischen Batterie bei unveränderter Stromstärke, also bei unveränderter Consumtion durch Vermehrung der Windungszahl beliebig steigern könne.

Was von der Grösse der Anziehung oder Abstossung zweier Magnetpole gilt, welche ruhig einander gegenüberstehen, darf aber durchaus

nicht auf den mechanischen Effect übertragen werden, welchen die Maschine hervorzubringen vermag, wenn sie in Bewegung ist, wie dies die folgende Betrachtung darthut.

Der Strom, welchen die Säule liefert, behält nur so lange den bei 1) angegebenen Werth, als man die Maschine nicht in Bewegung kommen lässt, als man sie anhält. Sobald die Rotation beginnt, nimmt die Stromstärke ab, und zwar um so mehr, je schneller die Maschine läuft.

Es lässt sich dies leicht nachweisen, wenn man eine Tangentenbussole in den Schliessungsbogen einschaltet. Hält man die Maschine an, so beobachtet man die der Gleichung 1) entsprechende Ablenkung. Hängt man der Maschine eine verhältnissmässig grosse Last an, so rotirt sie nur ganz langsam und die Nadel geht nur wenig von der Stellung zurück, welche sie einnahm, als die Maschine angehalten wurde. Vermindert man die angehängte Last mehr und mehr, so läuft die Maschine immer schneller und dabei geht die Nadel der Tangentenbussole mehr und mehr zurück.

Diese Schwächung der Stromstärke rührt daher, dass ein Magnet oder ein Elektromagnet, welcher sich in der Nähe einer geschlossenen Drahtspirale bewegt, in derselben einen Strom hervorzurufen (zu induciren) strebt, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, welcher, die Spirale durchströmend, eine Bewegung in gleichem Sinne bewirkt. — Die Gesetze dieser inducirten Ströme werden wir im sechsten Capitel näher betrachten, hier genügt es uns, vor der Hand zu wissen, dass die in Folge der Induction eintretende Stromschwächung proportional ist:

1. der Geschwindigkeit v, mit welcher sich der Elektromagnet bewegt;
2. der Stärke m der Elektromagnete;
3. der Windungszahl β;
4. dass sie umgekehrt proportional ist dem Widerstand ϱ.

Bezeichnet nun m' die Stärke des Magnetismus der Elektromagnete und i' die Stromstärke, während die Maschine im Gang ist, so ist

$$m' = \beta\, i' \quad \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

und die durch die Bewegung eingetretene Stromschwächung

$$i - i' = \frac{\beta\,.\, m' v \gamma}{\varrho},$$

wo γ irgend einen constanten Coëfficienten bezeichnet. Daraus aber ergiebt sich

$$v = \frac{(i - i')\, \varrho}{\beta\, m' \gamma},$$

oder, wenn man für i und m' ihre Werthe bei 1) und 4) setzt:

$$v = \frac{\left(\frac{n\,e}{\varrho} - i'\right) \varrho}{\beta^2\, i' \gamma} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 5)$$

Die Kraft, mit welcher die Elektromagnete sich anziehen oder abstossen, ist aber

$$R' = m'^2 = \beta^2 i'^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

Die Bedeutung des Werthes R' bedarf nun zunächst noch einer Erläuterung.

Die Kraft, mit welcher die Magnetpole auf einander wirken, ist keineswegs eine beständige Grösse, sie ist nämlich von der Entfernung der Pole abhängig und variirt also während jeder Umdrehung innerhalb gewisser, von der Eigenthümlichkeit der Maschine abhängiger Gränzen. Dies hindert jedoch nicht, dass die Maschine in einen nahezu gleichförmigen Lauf kommt, und während desselben wird ein bestimmter gleichförmiger Bewegungswiderstand überwunden, welcher theils von der angehängten Last, theils von dem Reibungswiderstande in der Maschine und dem Luftwiderstande herrührt. Dieser gleichförmige Bewegungswiderstand nun, welchen die Maschine überwindet, ist gleich der mittleren Kraft, mit welcher die Magnetpole auf einander wirken. In den Momenten, in welchen die Pole mit grösserer Kraft auf einander wirken, tritt eine Beschleunigung ein, während in den Zeittheilen, in welchen die Pole mit geringerer Kraft auf einander wirken, eine Verzögerung erfolgt.

Diese mittlere Kraft nun, welche der Summe aller Widerstandskräfte gleich ist, die von der Maschine überwunden werden, soll mit R' bezeichnet werden.

Aus der Vergleichung der Formeln 5) und 6) ergiebt sich zunächst das wichtige Resultat, dass bei unveränderter Stromstärke, also [bei unverändertem Werth von i' durch Vermehrung der Windungszahl β für den mechanischen Effect der Maschine nichts gewonnen werden kann.

Der mechanische Effect der Maschine ist nämlich dem Product $R'v$ proportional; aus diesem Product aber verschwindet β vollständig, denn in demselben Maasse, wie R' durch Vergrösserung von β zunimmt, nimmt auch v ab, denn im Werthe von R' steht β^2 im Zähler, im Werthe von v steht es im Nenner. Für den mechanischen Effect erhalten wir den Werth:

$$T = R'v = \frac{i' \varrho \left(\frac{ne}{\varrho} - i'\right)}{\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7)$$

T wird gleich Null, wenn $i' = \frac{ne}{\varrho}$, d. h. wenn der Strom den Werth von i in Gleichung 1) erreicht; für diesen Fall wird der Werth von R' gleich dem von R in Gleichung 3), während $v = 0$ wird. Ferner wird $T = 0$, wenn $i' = 0$ ist, wo dann $R = 0$ und $v = \infty$ wird. Zwischen diesen Gränzwerthen von i', nämlich $i' = 0$ und $i' = \frac{ne}{\varrho}$, muss es nun

offenbar einen Werth von i' geben, für welchen T ein Maximum wird. Ein bekannter Satz der Mathematik lehrt, dass das Product $x\ (a - x)$ ein Maximum wird, wenn $x = \frac{1}{2} a$. Wenden wir dies auf unseren Fall an, so ist klar, dass T ein Maximum sein wird, wenn

$$i' = \frac{n e}{2 \varrho} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 8)$$

dass man also ein Maximum des mechanischen Effects erhält, wenn man die Belastung der Maschine so regelt, dass die Stärke des Stromes, welcher den rotirenden Apparat durchläuft, gerade halb so gross ist, als die Stromstärke sein würde, wenn man die Maschine anhielte.

Für dieses Maximum des mechanischen Effectes erhält man

$$T_0 = \frac{n^2 e^2}{4 \varrho \gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 9)$$

wobei sich für die entsprechenden Werthe des Druckes und der Geschwindigkeit ergiebt

$$R_0 = \frac{\beta^2 n^2 e^2}{4 \varrho^2}$$

und

$$v_0 = \frac{\varrho}{\beta^2 \gamma}.$$

Es ist zu beachten, dass die Formel 9) nicht den reinen Nutzeffect ausdrückt, da T_0 die Gesammtarbeit der Maschine bezeichnet, welche aus der Summe des reinen Nutzeffects und der beim Lauf der Maschine zu überwindenden Bewegungshindernisse, der Reibung etc. besteht.

Die obigen Betrachtungen gelten allgemein für alle elektromagnetischen Motoren, welches auch übrigens ihre Construction sein mag; von den specifischen Eigenthümlichkeiten derselben hängt nur der Factor γ ab, dessen numerischer Werth über die Vortheilhaftigkeit der Construction Aufschluss geben würde. Da jedoch die Bestimmung dieser Constanten grossen Schwierigkeiten unterliegt, so empfiehlt es sich, zur Ermittelung des Wirkungsgrades eines elektromagnetischen Motors in der Praxis ein Verfahren einzuschlagen, welches zuerst von Petrie angewandt und von A. von Waltenhofen (Dingl. Journ. 183, p. 417, 188, p. 345, 191, pag. 89) ausführlich aus einander gesetzt und gegen Einwürfe vertheidigt worden ist.

Man versteht unter Wirkungsgrad eines Motors das Verhältniss zwischen der von ihm wirklich geleisteten Arbeit zu der theoretischen Arbeit, welche letztere sich nach dem Gesetze der Erhaltung der Energie aus dem Aufwande an Energie berechnen lässt. Ist also A diese theoretische Arbeit, A' die wirklich geleistete, so ist $\frac{A'}{A}$ der Wir-

kungsgrad, welcher meist in Procenten, also in der Form $p = 100 \frac{A'}{A}$ angegeben wird.

Die Bestimmung der wirklich geleisteten Arbeit geschieht mittelst des Bremsdynamometers (Bd. I, Seite 350 bis 352), die Berechnung der theoretischen Arbeit stützt sich auf folgende Principien:

Aus §. 135, S. 437 wissen wir, dass ein Strom, der nach Jacobi'schem Maasse die Intensität J besitzt und einer Batterie von der elektromotorischen Kraft E (nach Jacobi-Siemens' Maasse) entstammt, per Minute die Wärmemenge

$$C = 0{\cdot}124\, EJ \text{ Grammcalorien,}$$

also per Secunde die Wärmemenge $\frac{0{\cdot}124}{60} EJ$ Grammcalorien entwickelt, welche einer Arbeitsquantität $= 0{\cdot}424 \frac{0{\cdot}124}{60} EJ = 0{\cdot}00088\, EJ$ Kilogrammeter äquivalent ist. Hat die Batterie n hinter einander geschaltete Elemente von der elektromotorischen Kraft e, ist also $E = ne$, so ist die Energie oder Arbeitsfähigkeit einer solchen Batterie per Secunde gegeben durch:

$$A = 0{\cdot}00088\, e \,.\, nJ \text{ Kilogrammeter} \quad . \quad . \quad 10)$$

Besteht die Batterie aus Daniell'schen Elementen, wofür $e = 12$, so ist also

$$A = 0{\cdot}01056\, nJ \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10\,a)$$

besteht sie aus Bunsen'schen Elementen, deren $e = 20$, so erhält man

$$A = 0{\cdot}0176\, nJ \,. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10\,b)$$

Ein vollkommener elektromagnetischer Motor wäre nun derjenige, welcher diese ganze Energie A in nutzbare Arbeit umsetzen würde, die man von der Schwungradwelle aus weiter übertragen könnte. Einen solchen Motor giebt es nicht, denn es ist nicht möglich, den Strom durch die Drahtwindungen des Motors und die Flüssigkeit der Elemente zu leiten, ohne dass nicht sofort eine Quantität Wärme erzeugt wird. Aber auch von jenem Rest der aufgewendeten Energie, welche nicht unmittelbar in Wärme, sondern in Arbeit verwandelt wird, muss noch ein Bruchtheil zur Ueberwindung der Reibungshindernisse an der Axe und an den Contactstellen verbraucht, also auch in Wärme verwandelt werden, so dass der reine Nutzeffect A' stets beträchtlich kleiner als die theoretische Arbeit A ausfallen muss.

Um den Wirkungsgrad $\frac{A'}{A}$ auszumitteln, verfährt man also folgendermaassen. Man schaltet in den Schliessungskreis von n Elementen der elektromotorischen Kraft e den elektromagnetischen Motor und dahinter eine Tangentenbussole, deren Reductionsfactor R bekannt ist. Man legt ferner an die Schwungradwelle ein Bremsdynamometer, welches

im Abstand r von der Axe mit dem Gewichte P belastet ist. Man beobachtet dann gleichzeitig die Ablenkung α an der Tangentenbussole und die Anzahl u der Umdrehungen der Axe per Secunde. Es ist dann die nutzbare Arbeit $A' = 2\pi r u P$ (Bd. I, S. 350) und die theoretische Arbeit $A = 0{\cdot}00088\, e\, n\, R\, tang\, \alpha$ (nach Formel 10), mithin der Wirkungsgrad in Procenten:

$$p = 100\,\frac{A'}{A} = 100\,\frac{2\pi r u P}{0{\cdot}00088\, e\, n\, R\, tg\, \alpha}.$$

Als Beispiel wollen wir einige Messungen von A. von Waltenhofen am Kravogl'schen Motor anführen (Dingl. pol. Journ. Bd. 183, pag. 428). Der Hebelarm des Bremsdynamometers hätte 0·208 m Länge, mithin ist für $2\pi r$ zu setzen 1·307, also ist $A' = 1{\cdot}307\, u P$. Die Batterie bestand aus 6 Bunsen'schen Doppelelementen, folglich war $en = 20 \times 6 = 120$, mithin ergab sich $A = 0{\cdot}00088 \times 120\, R\, tang\, \alpha = 0{\cdot}1056\, .\, R\, tang\, \alpha$; der Reductionsfactor R war $= 4{\cdot}9$.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate von einigen der Einzelmessungen.

Nro. des Versuchs	Anzahl der Umdrehungen per Secunde u	Belastung P Kilogramm	Nutzbare Arbeit A' Kilogrammeter	Ablenkungswinkel α	Stromstärke $J = R tg \alpha$	Theoretische Arbeit A Kilogrammeter	Wirkungsgrad in Procenten p
1	1·33	0·335	0·5823	83° 0′	39·91	4·2145	13·8
3	2·17	0·275	0·7799	82° 15′	36·00	3·8016	20·5
4	2·50	0·285	0·9312	82° 5′	35·24	3·7213	25·0
8	5·00	0·100	0·6535	80° 35′	29·55	3·1205	20·9
10	6·15	0·050	0·4019	79° 20′	26·02	2·7477	14·6

Man sieht, dass bei Kravogl's Motor im günstigsten Falle der vierte Theil der aufgewendeten Energie als nutzbare Arbeit wiedergewonnen wird.

Ueber die mit dem Egger'schen elektromagnetischen Motor (S. 510) zu erzielenden Wirkungsgrade hat Rud. Handmann Messungen publicirt (Der neue Egger'sche elektromagnetische Motor, Münster 1879). Wir geben hier einige derselben, welche den günstigsten Resultaten entsprechen. Der Hebelarm des Dynamometers betrug hierbei = 0,3 m, mithin die effective Arbeit $A' = 2\pi r u P = 1{\cdot}8849\, u P$, e war ebenfalls = 20, R hatte den Werth 50·02, so dass die theoretische Arbeit $A = 0{\cdot}87885\, n\, tang\, \alpha$ zu setzen war.

Nro. des Versuchs	Anzahl der Umdrehungen per Secunde u	Belastung P	Nutzbare Arbeit A'	Ablenkungswinkel	Stromstärke	Theoretische Arbeit A	Wirkungsgrad in Procenten p
			Anzahl der Elemente $n = 3$				
14	1	0·126	0·2375	28⁰	28·881	1·4018	16·9
16	1·26	0·106	0·2536	25⁰30′	23·859	1·2576	20·2
			Anzahl der Elemente $n = 4$				
20	2	0·096	0·3550	31⁰	30·057	2·1124	15·8
22	1·33	0·166	0·4276	36⁰	36·339	2·5539	16·7

Wie man aus diesen Daten ersieht, geht auch bei Egger's Apparat nur $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4}$ der Stromenergie in verfügbare Arbeit über, $\frac{4}{5}$ bis $\frac{3}{4}$ werden demnach, theils direct durch den Strom, theils durch Reibung in Wärme verwandelt. Günstigere Resultate geben ohne Zweifel die grossen dynamoelektrischen Maschinen von Gramme, Siemens u. A. bei ihrer Anwendung als Motoren. Wir kommen hierauf später zurück. Wir haben oben angegeben, dass zur Berechnung des Wirkungsgrades die Stromstärke während des Ganges des Motors zu messen sei. Es ist nämlich der Arbeitsstrom stets schwächer als der Ruhestrom, weil durch die Bewegung des Motors ein entgegengerichteter Inductionsstrom entsteht. Für den Zinkverbrauch oder allgemeiner gesprochen, für die Grösse der aufgewendeten chemischen Energie ist der Arbeitsstrom maassgebend, weshalb auch der Wirkungsgrad aus diesem und nicht aus dem Ruhestrom zu berechnen ist, welchem ein ganz anderer, grösserer Zinkverbrauch entsprechen würde. Um die Rentabilität eines elektromagnetischen Motors zu beurtheilen, haben wir noch den Materialverbrauch in der Batterie zu berechnen. Aus Formel 10) folgt

$$J = \frac{A}{0·00088\, e\, n}.$$

J bedeutet die Anzahl Cubikcentimeter Knallgas, die derselbe Strom, welcher der Arbeit A äquivalent ist, per Minute in jeder Zersetzungszelle entwickeln würde. Ein Cubikcentimeter Knallgas ist aber äquivalent mit 0·001933 g Zink. Die vom Strom bei der Intensität J in jeder Zelle consumirte Zinkmenge ist demnach per Secunde

$$= 0·0000322\, J \text{ Gramm.}$$

Mithin ist die per Secunde in n Zellen vom Strom J consumirte Zinkmenge Z gegeben durch:

$$Z = 0{\cdot}0322\, n\, J = \frac{0{\cdot}0000322\, A}{0{\cdot}00088\, e} = \frac{0{\cdot}0366}{e}\, A \text{ Gramm.}$$

Setzt man nun $A = 1$, so erhält man den theoretischen Zinkverbrauch in Grammen, welcher erforderlich ist, um eine Arbeitseinheit (Kilogrammeter) hervorzubringen:

$$Z_1 = \frac{0{\cdot}0366}{e},$$

dieser Zinkverbrauch ist also von der elektromotorischen Kraft e der angewendeten Elemente abhängig und zwar verkehrt proportional derselben. Da für Bunsen'sche Elemente $e = 20$, so ist hierfür

$$Z_1 = 0{\cdot}00183 \text{ g.}$$

Per Pferdekraft und Stunde ergiebt sich daraus ein Zinkverbrauch von $0{\cdot}00183 \times 75 \times 60 \times 60 = 494$ g oder rund ein halbes Kilogramm.

Diese Zinkconsumtion begleitet ein Verbrauch von 2 kg käuflicher Salpetersäure (von 1·33 specif. Gew.). Dies ist aber erst der theoretische Materialienverbrauch. Arbeitet der betreffende Motor mit dem Wirkungsgrad von 25 Proc., so ist der wirkliche Materialverbrauch 4 mal so gross, beträgt also per Pferdekraft und Stunde 2 kg Zink und 8 kg Salpetersäure. Nimmt man ferner an, dass die Kosten der Schwefelsäure durch den erzeugten Zinkvitriol gedeckt werden, und setzt den Preis von 1 kg Zink zu 1 M. 50 Pf., den von 1 kg Salpetersäure zu 50 Pf., so kostet das Zink 3 M., die Säure 4 M.; die Materialkosten per Stunde und Pferdekraft betragen demnach in Summa 7 M., das ist ungefähr 35 mal so viel, als der Kohlenverbrauch in einer Dampfmaschine bei gleicher Arbeitsleistung kostet.

Die elektromagnetische Triebkraft ist demnach eine sehr kostspielige und es leuchtet demnach ein, dass sie nur im Kleinen Anwendung finden kann und dass es vortheilhafter ist, Arbeit in elektrischen Strom statt umgekehrt elektrischen Strom in Arbeit zu verwandeln.

156 **Die elektrische Telegraphie.** Bereits in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts hatte man Versuche gemacht, die Reibungselektricität zum Telegraphiren zu benutzen, nachdem man sich von der grossen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität überzeugt hatte. Alle nach dieser Seite hin gerichteten Bestrebungen scheiterten aber an der Unbeständigkeit der Elektrisirmaschine, ihrer Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitszustande der Luft, der Schwierigkeit einer genügenden Isolirung der Leitungsdrähte etc.

Bald nach Entdeckung des Galvanismus und der Volta'schen Säule versuchte man, und zwar zuerst in Deutschland, den galvanischen Strom zur Telegraphie zu benutzen. Sömmering in München construirte 1808 den ersten elektrischen Telegraphen, indem er die Wasser-

zersetzung zur Zeichengebung benutzte. Hörbare Signale brachte er dadurch hervor, dass an der Empfangsstation das durch den Strom entwickelte Knallgas eine unter Wasser befindliche Glocke füllte, welche dadurch gehoben wurde und ein Glockenzeichen auslöste. Die Kriegswirren jener Zeiten liessen die Erfindung in Deutschland damals in Vergessenheit gerathen.

Vorsselmann de Heer construirte einen elektrischen Telegraphen mit Hülfe der physiologischen Wirkungen des Stromes.

Eine wirklich praktische Richtung nahmen die Versuche der elektrischen Telegraphie erst nach Entdeckung des Elektromagnetismus durch Oersted 1820, indem Ampère vorschlug, an Stelle der Platinelektroden in Sömmering's Apparat Magnetnadeln zu setzen. Schilling von Canstadt wandte 1832 zuerst nur zwei Drähte und eine Magnetnadel an, welche er durch wechselnde Ströme ablenkte; allein erst Gauss und Weber haben im Jahre 1833 einen derartigen Apparat im Grossen ausgeführt. Die Leitungsdrähte waren zwischen dem physikalischen Cabinet und der Sternwarte zu Göttingen über die Häuser der Stadt hin ausgespannt worden. Der Observationsapparat auf der einen Station bestand aus einem Gauss'schen Magnetometer, dessen Stab, wie in Fig. 406, S. 464, mit zahlreichen Multiplicatorwindungen umgeben war, welche die Schliessung der Zuleitungsdrähte auf dieser Seite bildeten. Indem nun auf der anderen Station ein momentaner Strom in der einen oder anderen Richtung erzeugt wurde, machte der Magnetstab eine durch das Fernrohr zu beobachtende Zuckung nach der rechten oder nach der linken Seite.

Durch Combination dieser beiden Elementarzeichen (Ausschlag rechts und Ausschlag links) wurde das Alphabet gebildet.

Es waren nicht galvanisch erzeugte Ströme, welche hier in Anwendung gebracht wurden, sondern Inductionsströme, wie wir sie im nächsten Capitel werden kennen lernen.

Steinheil machte sich dann 1838 um die Vervollkommnung der elektrischen Telegraphie insbesondere dadurch verdient, dass er die Anzahl der nöthigen Drahtleitungen auf eine einzige reducirte. Er entdeckte nämlich bei seinen Versuchen auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn, dass sich das Erdreich selbst zur Rückleitung des Stromes benutzen lasse. Auf welche Weise dies ermöglicht wird, werden wir weiter unten sehen.

Darf somit Deutschland den Ruhm der Erfindung der elektrischen Telegraphie für sich in Anspruch nehmen, so sind bei der Construction jener Telegraphenapparate, welche diese Erfindung dem allgemeinen Verkehr nutzbar machten, der Engländer Wheatstone, der Franzose Breguet und der Amerikaner Morse hervorragend betheiligt.

Jeder vollständige Telegraphenapparat besteht ausser der Drahtleitung aus dem Aufgeber oder Manipulator und dem Empfänger oder Receptor. Je nach der Construction des letzteren unterscheidet man als Hauptsysteme:

I. Nadeltelegraphen, bei welchen die Buchstaben durch Combination von Magnetnadelausschlägen hervorgebracht werden;

II. Zeigertelegraphen, bei welchen sich ein Zeiger vor einem Buchstabenkreise bewegt und vor dem zu signalisirenden Buchstaben eine Weile stehen bleibt;

III. Schreibtelegraphen, bei welchen ein Stift durch Punkte und Striche, die er auf einem Papierstreifen hervorbringt, die Buchstaben signalisirt;

IV. Drucktelegraphen, welche die übersendete Depesche direct mit gewöhnlichen Buchstaben auf Papier gedruckt anfertigen; endlich

V. Pantelegraphen, welche jeden beliebigen Schriftzug oder auch eine Zeichnung getreu übermitteln und auf chemischen Wirkungen des Stromes beruhen.

Dazu käme dann als VI. System das später zu besprechende Telephon, welches direct die gesprochenen Worte oder Töne hörbar an der Empfangsstation hervorbringt.

Es ist nicht die Aufgabe unseres Buches, diese Systeme sämmtlich zu beschreiben, da es sich dabei vielfach nur um die technische Ausführung der physikalischen Principien handelt, welche letzteren uns hier vorwiegend interessiren. Wir wollen daher nur einige dieser Apparate etwas näher kennen lehren und zwar vor Allem den Schreibtelegraphen von Morse, welcher unter allen der verbreitetste geworden ist.

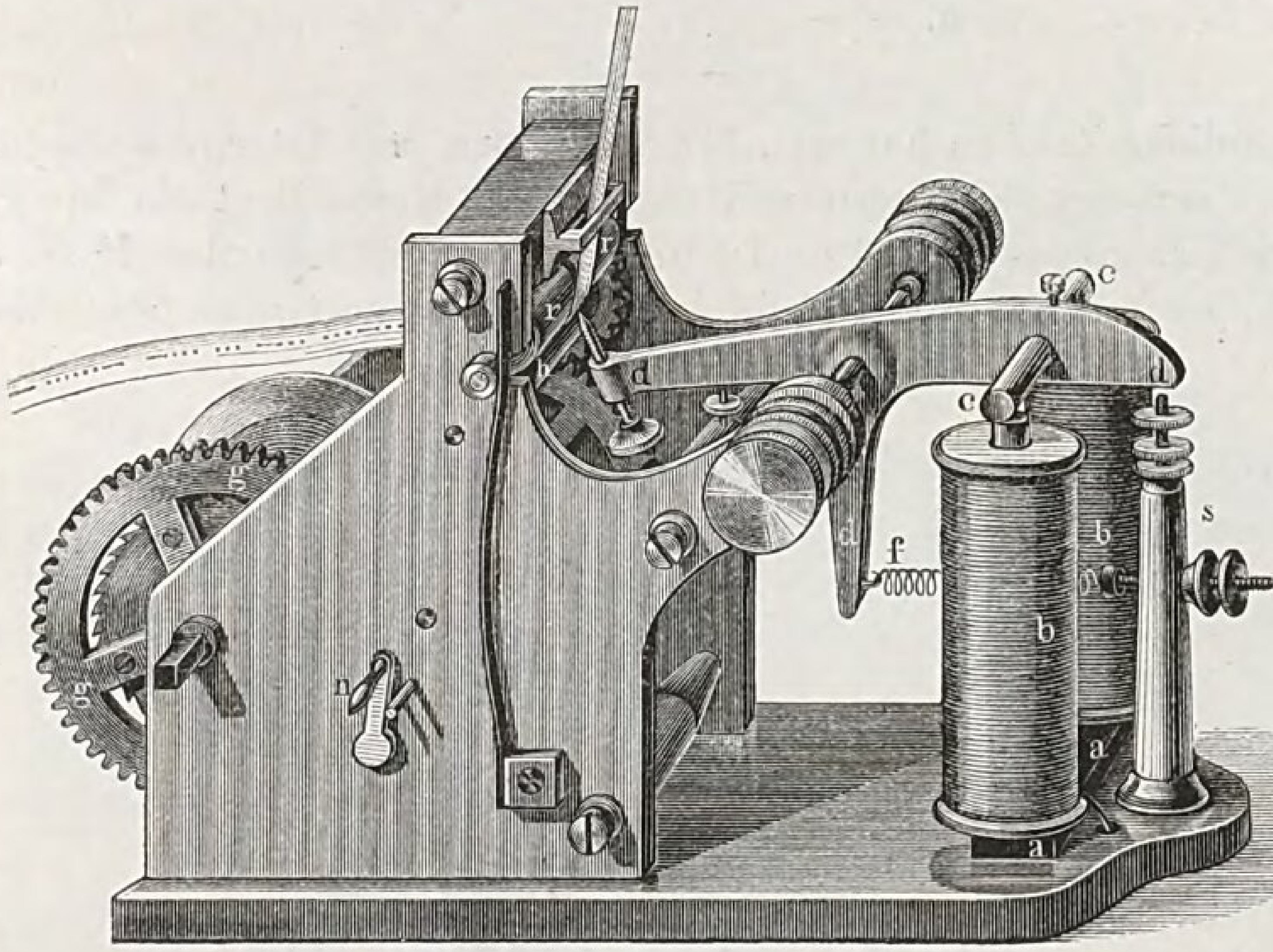
157 **Morse's Schreibtelegraph; Hughes' Drucktelegraph; Caseli's Pantelegraph.** Bereits im Jahre 1832 kam der Amerikaner Morse auf den Gedanken, Elektromagnete zur Telegraphie zu benutzen; aber erst nach vielen mühevollen Versuchen kam er zum Ziele, und im Jahre 1837 wurde die Einrichtung seines Drucktelegraphen bekannt gemacht. Er zeichnet sich durch grosse Einfachheit aus und hat vor den übrigen Telegraphen den grossen Vortheil, dass er nicht bloss vorübergehende Zeichen giebt, sondern ein bleibendes Actenstück liefert. Diese Telegraphen sind mit verschiedenen Modificationen jetzt fast überall eingeführt.

Fig. 462 stellt den Morse'schen Schreibapparat in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Grösse dar. Auf einer eisernen Platte a sind zwei Stäbchen von Eisen befestigt, welche, mit den Magnetisirungsspiralen b umgeben, einen Hufeisenmagneten bilden. Ueber den Polen schwebt in einiger Entfernung der Eisenstab c, welcher in dem Messinghebel d steckt. Sobald die Eisenkerne magnetisch werden, wird das rechte Ende des Hebels d niedergezogen; wenn die Eisenkerne ihren Magnetismus verlieren, so wird der Hebel durch eine an einem Seitenarm des Hebels d ziehende Feder f in seine alte Stellung zurückgezogen.

Der Hebelarm d schlägt mit seinem Ende auf der rechten Seite schon auf, bevor noch der Anker c vollständig in Berührung mit den Polen des Elektromagnets gekommen ist, weil bei vollkommen anliegen-

dem Anker der Elektromagnet nach Unterbrechung des Stromes seinen Magnetismus nicht ganz verliert, wodurch der Gang des Apparates sehr erschwert und unsicher werden würde.

Fig. 462.



An seinem linken Ende trägt der Hebel *d* einen Stahlstift, welcher bei jedem Niedergange des Stabes *c* gegen einen Papierstreifen gedrückt wird, den ein Uhrwerk mit gleichmässiger Geschwindigkeit fortzieht.

Das erste Rad *g* dieses Uhrwerkes wird durch ein an der Welle desselben angehängtes Gewicht langsam umgedreht, und diese Bewegung wird durch mehrere Zwischenräder auf die Walze *h* übertragen, welche sich mit grösserer Geschwindigkeit umdreht. Die Umdrehung der Walze *h* bewirkt durch Reibung die Umdrehung der gleich grossen Walze *r*. Zwischen beiden steckt ein Papierstreifen, welcher von einer höher aufgestellten Rolle kommt. Ist das Uhrwerk im Gange, so wird der Papierstreifen mit gleichförmiger Geschwindigkeit, ungefähr 3 cm in der Secunde, fortgezogen.

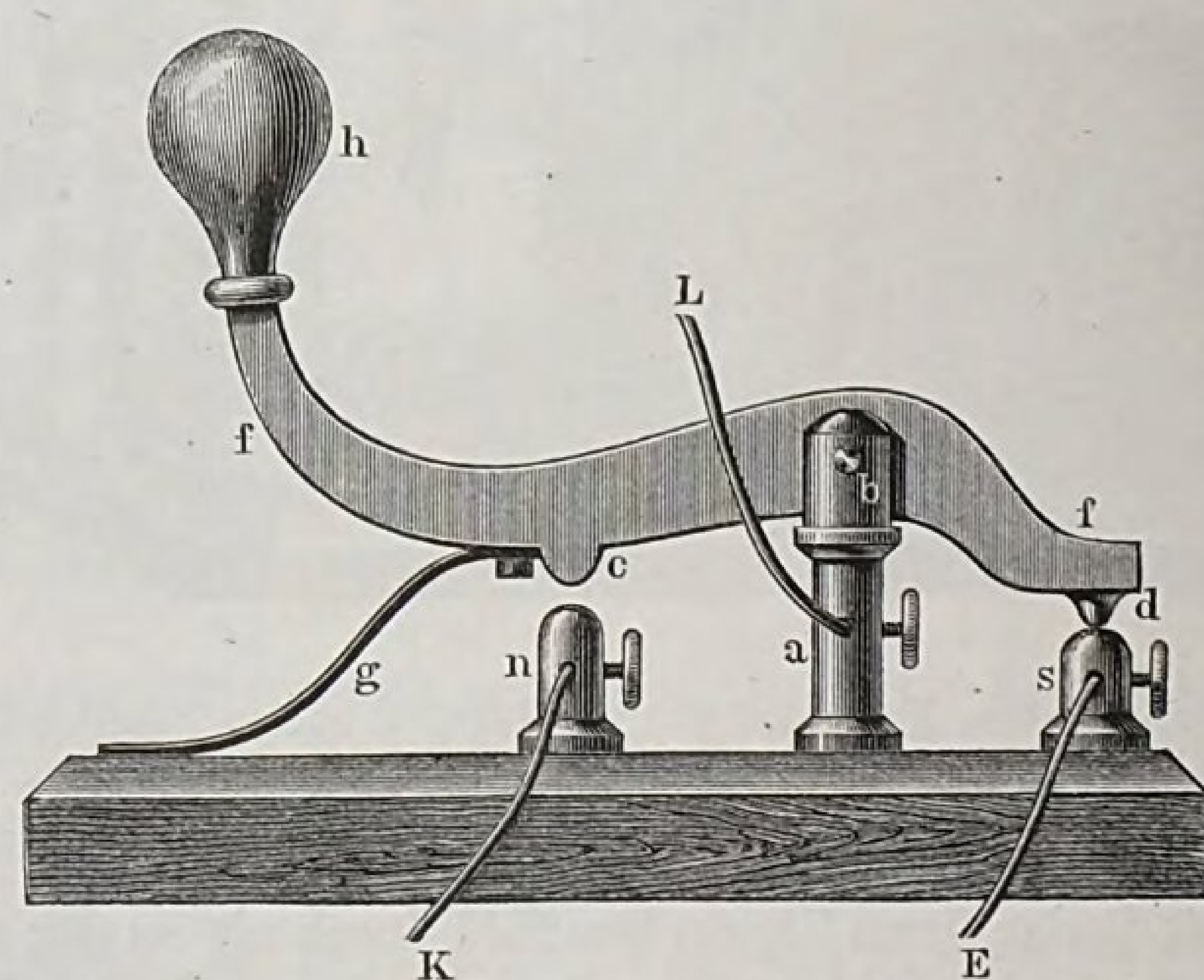
In der Mitte der Rolle *r* befindet sich eine Rinne, von welcher ein Theil noch in der Figur sichtbar ist. In diese Rinne wird nun der Stift hineingedrückt, wenn *c* niedergezogen wird; es presst also der Stift eine Vertiefung in den die Rinne überdeckenden Papierstreifen. Wird der galvanische Strom nur für einen Augenblick geschlossen, so drückt der Stift einen Punkt in das Papier, bleibt aber der Strom einige Zeit geschlossen, so entsteht ein Strich, weil ja das Papier unterdessen fortgezogen wird. Aus Punkten und Strichen ist nun das Alphabet zusammengesetzt, und zwar das bei uns übliche folgendermaassen:

a · —	g — — ·	n — ·	t —
b — · · ·	h	o · — · · ·	u · · —
c — · — ·	i . .	p	v · · · —
d — · ·	k — · —	q — — · —	w · — —
e .	l · — · ·	r · — ·	x · · — · · ·
f · · — ·	m — —	s . . .	y · — — · · ·
	z · — — · ·		

Aehnliche Zeichen hat man für die Zahlen und Interpunktionen.

Zum sicheren Schliessen und Oeffnen der Kette dient ein Apparat, der den Namen des Schlüssels führt. Der Schlüssel des Morse'schen Apparates ist Fig. 463 in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Grösse abgebildet.

Fig. 463.



Auf einem Brettchen ist ein Messingsäulchen a aufgesetzt, in welchem die horizontale stählerne Drehungsaxe des messingenen Hebels f befestigt ist. Dieser Hebel wird durch eine Stahlfeder g nach vorn gedrückt, so dass die Messingwarze d auf dem Messingsäulchen s aufsitzt. Drückt man den Hebel, am Handgriff h anfassend, nieder, so kommt die Hervorragung c des Hebels f mit dem Messingsäulchen n in Berührung, während die vordere Spitze des Hebels nun in die Höhe gehoben ist, also nicht mehr mit dem Säulchen s in leitender Verbindung steht.

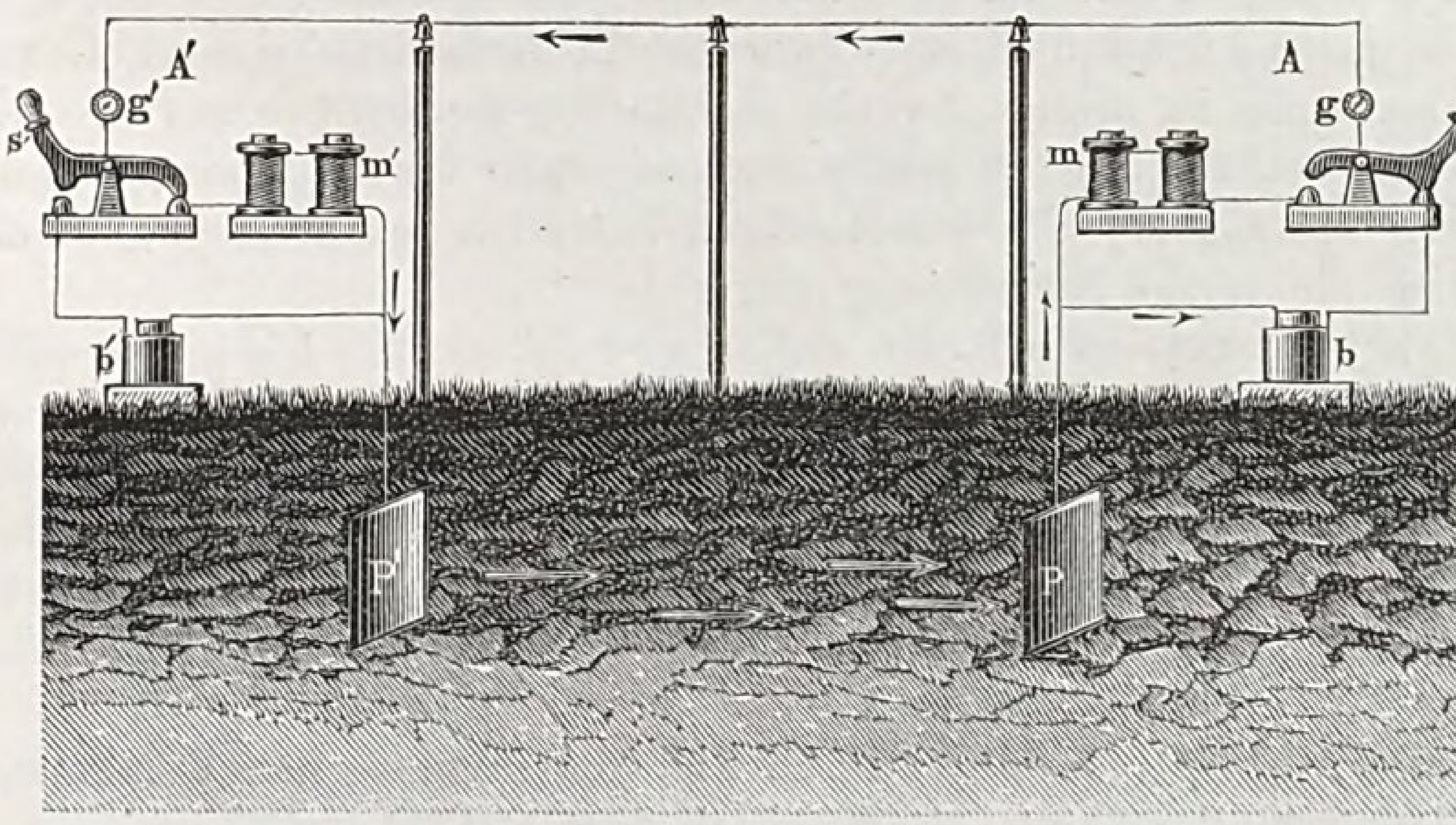
Das Messingsäulchen a ist durch den Draht L mit der Drahtleitung in Verbindung gesetzt, welche zur nächsten Station führt.

Von n führt ein Draht K zu dem einen Pol, etwa dem Kupferpol der galvanischen Batterie. Von s geht ein Draht E aus, der sich alsbald spaltet, indem der eine Theil zum Zinkpol der Batterie, der andere zu den Windungen des Elektromagnets führt, von dem aus dann die Leitung weiter zu einer in den feuchten Boden vergrabenen Kupferplatte, der sogenannten Erdplatte, geführt ist.

Fig. 464 stellt zwei mit einander verbundene Stationen dar. b und b' sind die Batterien, s und s' sind die Schlüssel, m und m' sind die Elektromagnete des Schreibapparates.

Sind beide Schlüssel in der Ruhelage, wie es in unserer Figur bei dem Schlüssel der Station links der Fall ist, so kann kein Strom ent-

Fig. 464.



stehen, denn bei dem Messingkegel n (Fig. 463) ist die Leitung unterbrochen. Wird aber der Schlüssel auf einer Station niedergedrückt, wie es in unserer Figur für die Station rechts der Fall ist, so ist der Schliessungsbogen für die Batterie dieser Station hergestellt, der Strom geht vom positiven Pol der Batterie b durch den Schlüssel s zum Leitungsdraht, welcher den Strom zum Schlüssel s' der anderen Station führt; von diesem gelangt der Strom zu den Windungen des Elektromagnets m', zur Erdplatte P', geht dann durch den Erdboden über P und m zum negativen Pol von b zurück, wie denn dieser Lauf des Stromes durch die Pfeile hinlänglich bezeichnet ist.

So umkreist denn der auf der Station b erzeugte Strom die Elektromagnete beider Stationen; die Batterie b' der anderen Station ist nicht geschlossen, kann also keinen Strom aussenden.

Will der Telegraphist der einen Station, etwa der rechten, eine Depesche abgehen lassen, so drückt er mehrmals rasch hinter einander seinen Schlüssel nieder, wodurch ein abwechselndes An- und Abziehen der Anker beider Elektromagnete erfolgt. Das dadurch hervorgebrachte Klappern macht den Telegraphisten der anderen Station aufmerksam, welcher nun, nachdem er auf ähnliche Weise geantwortet hat, sein Uhrwerk mittelst des kleinen Hebels n (Fig. 462) auslöst und seinen Papierstreifen laufen lässt. Der Telegraphist der sprechenden Station drückt nun in den gehörigen Intervallen seinen Schlüssel nieder, um dadurch auf dem Streifen der anderen Station die beabsichtigten Zeichen, Punkte und Striche hervorzubringen. Zum Zeichen, dass die Depesche beendigt

ist, macht er eine Reihe von 20 bis 30 gleichmässig auf einander folgenden Punkten.

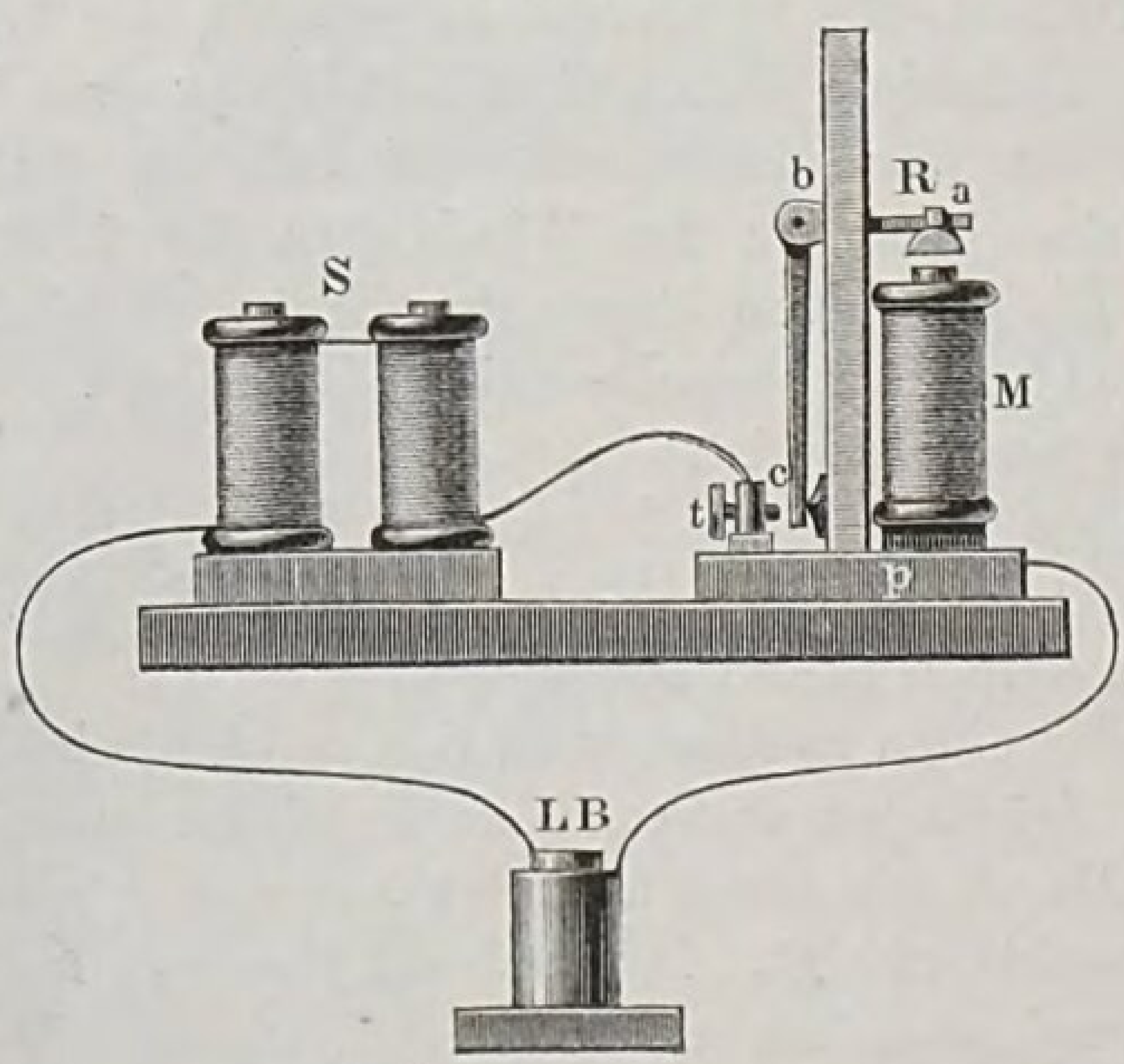
Ganz so einfach, wie es eben beschrieben wurde, bleibt aber die Sache in der Praxis doch nicht. Der Strom, welcher erforderlich ist, um einen Morse'schen Schreibapparat in Gang zu setzen, muss ziemlich stark sein, denn sonst wird der Anker *c* nicht mit hinlänglicher Kraft angezogen, der Stahlstift nicht mit hinlänglicher Kraft gegen das Papier gedrückt, um deutliche Eindrücke in demselben hervorzubringen; um aber einen zu diesem Zwecke hinlänglich starken Strom durch eine so lange Drahtleitung zu senden, müsste man eine übermässig starke Batterie anwenden. Um mit mässigen Batterien auszureichen, hat man folgende sinnreiche Einrichtung getroffen.

An jeder Station befinden sich zwei Batterien. Die eine, welche den Namen der Linienbatterie führt, besteht für eine Entfernung von ungefähr 10 Meilen aus sechs Zinkkohlenbechern oder meist einer grösseren Zahl schwächerer Elemente. Diese Batterie ist es, welche ihren Strom zur nächsten Station sendet und dort auf einen ausserordentlich leicht beweglichen Apparat wirkt, welcher der Uebertrager oder auch das Relais genannt wird.

Ein solcher Uebertrager ist in Fig. 465 sammt seiner Combination mit dem Schreibapparat schematisch dargestellt.

Der Elektromagnet *M* hat im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie der am Schreibapparat Fig. 462, nur sind die Spiralen (von denen in unserer Figur nur eine sichtbar ist) aus dünnerem Drahte gebildet und haben deshalb mehr Windungen. Der unten flache Anker steht dem Eisenkerne ziemlich nahe; er ist an einem rechtwinklig gebogenen eisernen Winkelhebel *a b c* befestigt, dessen Drehungsaxe durch ein messingenes Gestell getragen wird. Dieser Winkelhebel nun wird durch eine in unserer Figur nicht sichtbare Feder in die Höhe gezogen, und dadurch sein unteres Ende *c* nach rechts gegen die Spitze eines am Stativ befestigten Schraubenkopfes angedrückt. Sobald ein Strom die Spirale durchläuft, wird der Anker niedergezogen und das untere Ende *c* des Hebels gegen die Schraube *t* gedrückt, noch ehe der Anker mit den Eisenkernen in

Fig. 465.



Berührung kommt. Der Spielraum für den Hebel ist sehr klein; da nun ferner der Hebel sehr leicht beweglich ist, und der Anker den Eisenkernen sehr nahe steht, so reicht schon ein sehr schwacher, die Spirale durchlaufender Strom hin, um diese Bewegung hervorzubringen.

Nun befindet sich aber an jeder Station eine zweite Säule, die Localbatterie, aus einer geringen Anzahl von Bechern bestehend, in deren Schliessungsbogen der Schreibapparat eingeschaltet ist; die eben besprochene Bewegung des Winkelhebels dient nur dazu, diese Kette zu schliessen und wieder zu öffnen.

Von dem einen Pole, etwa dem positiven der Localbatterie, geht nämlich ein Draht zur Messingplatte p, mit welcher der Winkelhebel in leitender Verbindung steht. Der kleine Messingpfeiler aber, in welchem die Schraube t steckt und welcher durch eine Unterlage von Elfenbein oder Holz vor der leitenden Berührung mit p geschützt wird, ist durch einen Leitungsdraht mit dem einen Drahtende der Spirale des Schreibapparates verbunden, von deren anderem Ende ein Draht zum negativen Pole der Localbatterie führt. Man sieht also, dass die Localbatterie nicht geschlossen ist, so lange kein Strom durch die Spiralen des Uebertragers geht, weil sich eine Unterbrechungsstelle zwischen der mit dem negativen Pol verbundenen Schraube t und dem mit dem positiven Pole verbundenen Winkelhebel befindet. Sobald aber die Spiralen des Uebertragers durch den von der anderen Station kommenden Strom durchlaufen werden, findet die Schliessung der Kette bei c statt, und nun wird auch der Schreibapparat von dem Strome der Localbatterie durchflossen, der natürlich sehr kräftig ist, weil er ausser den Windungen der Spiralen bei S nur eine ganz unbedeutende Drahtlänge zu durchlaufen hat.

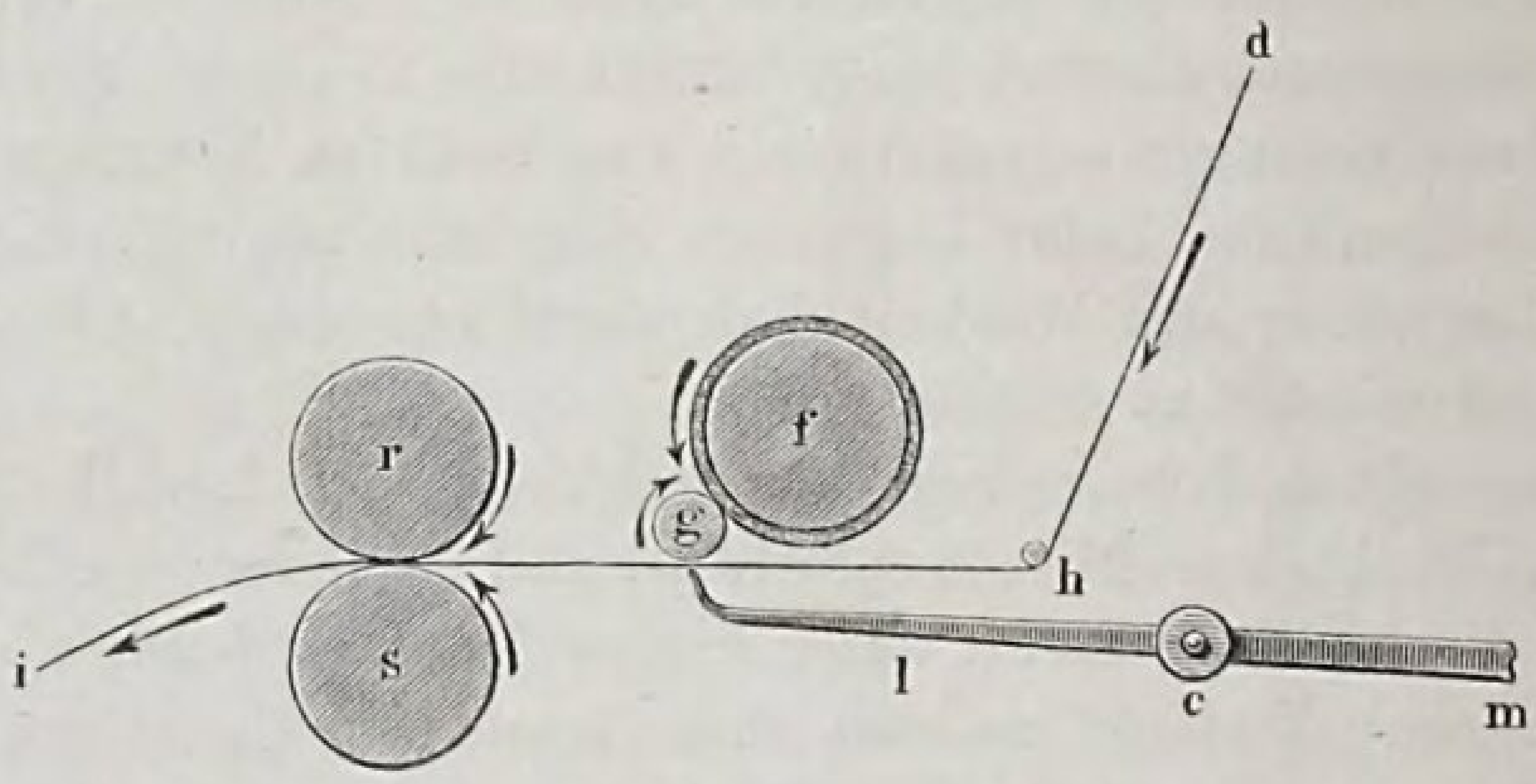
Die Bedeutung der Fig. 464 wird nun durch Einführung des Uebertragers eine etwas andere; m und m' stellen nämlich nicht, wie anfangs angenommen wurde, die Elektromagnete der Schreibapparate an beiden Stationen, sondern die Elektromagnete der beiden Uebertrager dar.

Sobald der Telegraphist einer Station den Schlüssel niederdrückt, wie es in Fig. 464 auf der Station rechts der Fall ist, so sendet er den Strom seiner Hauptbatterie durch die Spiralen der Uebertrager auf beiden Stationen; dadurch aber werden die Localbatterien auf beiden Stationen geschlossen, und auf beiden Stationen der Anker des Schreibapparates angezogen.

Eine wesentliche Verbesserung des Morse'schen Apparates ist der sogenannte Schwarzschreiber. Die Schrift des Morse'schen Schreibhebels markirt sich durch Vertiefungen im Papier, deren Sichtbarkeit von der Beleuchtung abhängig, überhaupt nicht sehr in die Augen fallend sind. Dazu kommt noch, dass eine bedeutende Kraft der Localbatterie dazu gehört, um die Eindrücke des Stiftes hinlänglich zu markiren. Um diese Uebelstände zu beseitigen, wurden viele vergebliche Versuche gemacht, bis die Aufgabe endlich durch den Schwarz-

schreiber gelöst wurde, dessen Einrichtung aus der schematischen Fig. 466 zu ersehen ist. Der Papierstreifen *dhi* wird wie beim Morse'-

Fig. 466.



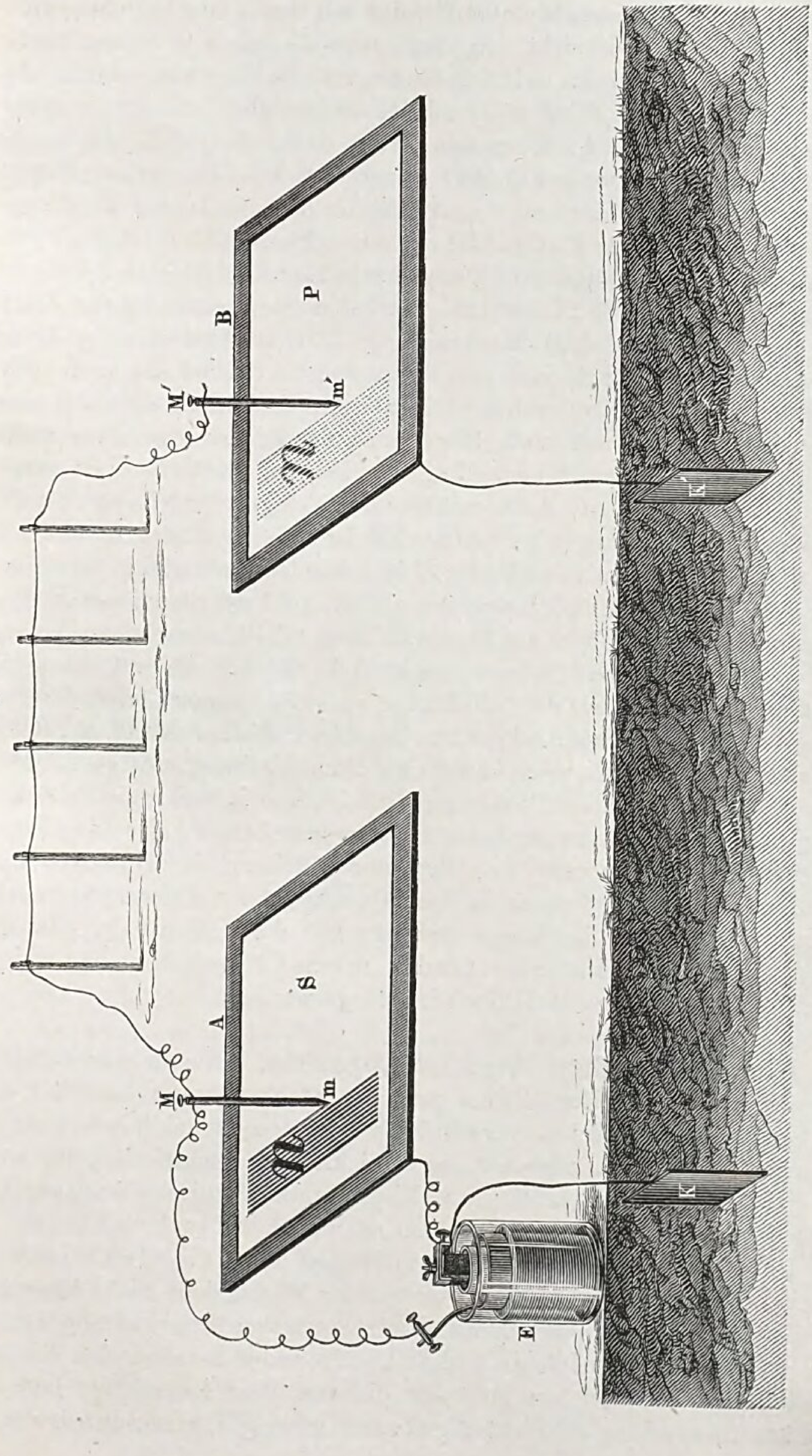
schen Apparat durch die beiden mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich umdrehenden Metallcylinder *r* und *s* fortgezogen. *f* ist eine um ihre Axe drehbare Walze, deren aus Tuch oder Filz bestehender Ueberzug mit öliger Tinte getränkt ist. Dieser Filzcylinder berührt die gleichfalls um ihre Axe drehbare Metallscheibe *g* und befeuchtet sie an ihrem äusseren Rande mit der Farbe. Wenn der Elektromagnet nicht in Thätigkeit ist, bewegt sich der Papierstreifen dicht unter der Scheibe *g* fort, ohne sie zu berühren, sobald aber der Strom des Elektromagnets geschlossen wird, wird der Papierstreifen durch die Spitze des um *c* drehbaren Schreibhebels *lm* an den Rand des Rädchens *g* angedrückt und ein Punkt oder ein Strich gemacht, je nachdem die Schliessung des Stromes nur momentan ist oder einige Zeit dauert. Eine Drehung von *g* und *f* erfolgt nur, so lange der Papierstreifen durch den Schreibhebel an den Umfang des Rädchens *g* angedrückt ist.

Dieser Apparat bietet ausser dem Vortheil einer ungleich leserlicheren Schrift auch noch den Vortheil, dass die Bewegung des Schreibhebels hier nur eines geringen Kraftaufwandes bedarf, so dass man auf nicht zu grosse Entfernungen hin das Relais und die Localbatterie ganz entbehren kann.

Seit einigen Jahren ist dem Morse'schen Schreibtelegraphen in dem Drucktelegraphen von Hughes eine ernste Concurrenz erwachsen. Der letztere hat einen Manipulator in Form einer Klaviatur und einen sehr complicirt gebauten Receptor, dessen Hauptbestandtheil ein Rad ist, dessen Umfang die Buchstabentypen enthält. Der Mechanismus wirkt derartig, dass beim Niederdrücken einer Taste am Aufgabeorte das Typenrad der Empfangsstation sich so lange dreht, bis der gewünschte Buchstabe zu unterst zu stehen kommt, worauf der Papierstreifen an die geschwärzte Type angedrückt wird. Die Depesche erscheint daher in gewöhnlichen lateinischen Lettern gedruckt.

Caseli's Pantelegraph ist auf ganz abweichenden Principien beruhend. Wenn man auf eine Metallplatte, welche mit einem Pole einer

Fig. 467.



Batterie verbunden ist, ein mit Blutlaugensalzlösung getränktes Papierblatt legt, und mit einem Metallstifte, der mit dem anderen Pole verbunden ist, darauf Linien zieht, so erscheinen dieselben in blauer Farbe, weil das Blutlaugensalz unter Bildung von Berlinerblau durch den Strom zersetzt wird. Wird während des Linienziehens der Strom unterbrochen, so bleibt die Färbung aus. Man denke sich nun, wie in der schematischen Zeichnung Fig. 467 dargestellt ist, die beiden Metallplatten A und B, erstere an der Aufgabe-, letztere an der Empfangsstation aufgestellt. Die Platte A ist mit einem Stanniolblatte S, die Platte B mit einem in Blutlaugensalzlösung getränkten Papierblatte P bedeckt. Die beiden Metallstifte M und M' werden mittelst eines (in der Zeichnung nicht angedeuteten) Mechanismus durchaus gleichzeitig derart über die Flächen geführt, dass ihre Spitzen je ein System eng aneinander stossender paralleler Linien beschreiben. Auf das Stanniolblatt S wird zuvor die Depesche mit einer Harzlösung geschrieben, so dass nichtleitende Schriftzüge entstehen. Der eine Pol der Batterie E ist zuerst mit dem ersten Stift M, dann mittelst der Telegraphenleitung mit M' in leitender Verbindung, der andere Pol ist mit der Platte A und mittelst der Erdleitung mit der Platte B in leitender Verbindung. So lange die Spitze m auf leitender Unterlage gleitet, geht der Strom von E über M, m nach E zurück und die übrige Leitung erhält wegen des sehr viel grösseren Widerstandes keinen merklichen Strom. So oft aber die Spitze m auf einen Theil der Schriftzüge zu stehen kommt, wird daselbst die Leitung unterbrochen und der Strom geht von E über M, M', m', K', K zurück nach E. Dabei muss in m' eine blaue Färbung entstehen. Man begreift, wie es auf diese Weise möglich ist, von irgend welcher Zeichnung oder Schrift ein aus parallelen Strichen bestehendes, also so zu sagen schraffirtes Abbild zu erhalten. Soweit das Princip der Methode; ihre technische Ausführung muss in Specialwerken über Telegraphie nachgelesen werden; hier begnügen wir uns mit der Andeutung, dass die beiden Stifte durch isochrone Pendel, deren Uebereinstimmung selbst auf elektrischem Wege erzielt wird, bewegt werden.

158 **Die elektrischen Registrirapparate.** Ausser zur Telegraphie wird der elektrische Strom und der Elektromagnet noch zu unzähligen anderen Zwecken verwendet, wo es sich darum handelt, sei es auf grosse Distanzen, oder mit augenblicklicher Geschwindigkeit, oder auf vielfach gekrümmtem Wege, welcher eine mechanische Transmission nicht zulässt, Bewegungen auszulösen oder zu hemmen.

Unter diesen zahlreichen Anwendungen sind die elektrischen Registrirapparate von hervorragender Wichtigkeit nicht bloss bei physikalischen, meteorologischen und astronomischen Untersuchungen, sondern auch in der Physiologie und fast allen anderen messenden Wissenschaften. Hierher gehören zunächst die von dem Amerikaner Locke zuerst in Anwendung gebrachten galvanisch registrirenden Uhren,

welche für astronomische Beobachtungen von dem grössten Werthe sind. Wird bei jedem Schlage des Pendels einer astronomischen Uhr die Kette geschlossen, in deren Schliessungsbogen eine dem Morse'schen Telegraphen ähnliche Vorrichtung eingeschaltet ist, so wird der Stift bei jedem Secundenschlage einen Punkt oder (wenn die Schliessung etwas längere Zeit dauert) einen Strich auf dem mit gleichmässiger Geschwindigkeit vorwärts bewegten Papierstreifen machen. Beim Locke'schen Apparate ging der Papierstreifen mit einer solchen Geschwindigkeit voran, dass die Secundenpunkte ungefähr 3 cm von einander abstanden.

Neben dem Elektromagnet dieses Schreibapparates ist aber noch ein zweiter angebracht, dessen Windungen einer anderen Kette angehören, welche der Beobachter beliebig schliessen kann, indem er mit dem Finger eine Taste anschlägt. Durch die Schliessung dieser zweiten Kette wird nun gleichfalls ein Stift gegen den Papierstreifen gedrückt; bei wiederholtem Anschlagen entsteht so auf dem Papierstreifen neben der ersten Reihe von Punkten, den Secundenpunkten, eine zweite, welche wir Beobachtungspunkte nennen wollen.

Ist nun z. B. eine Sonnenfinsterniss zu beobachten, also genau der Moment anzugeben, in welchem der Mondrand an die Sonne tritt, so schaut der Beobachter durch das Fernrohr und hält den Finger an die Taste, welche er niederdrückt, sobald er die fragliche Erscheinung wahrnimmt. Auf diese Weise wird der Beobachtungsmoment auf dem Papierstreifen markirt.

Steht der Beobachtungspunkt neben dem Secundenpunkte, so trifft der Beobachtungsmoment mit dem Beginn einer Secunde zusammen und der Anfang der Finsterniss tritt um so viel Uhr, Minuten und Secunden ein. Steht der Beobachtungspunkt nicht genau neben einem, sondern zwischen zwei Secundenpunkten, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung des Beobachtungspunktes von dem vorhergehenden Secundenpunkte auf dem Papierstreifen abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, wie viel Zehntel und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vorhergehenden Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

Diese grosse Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug der galvanisch registrirenden Uhren.

Bisher musste man die Uhr immer neben sich haben, um die Secunden zu hören, und konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hülfsmittel gegeben waren, eine sehr umständliche Sache; bei einer registrirenden Uhr dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Drahtleitung leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht einmal erforderlich, dass die astronomische Uhr im Beobachtungssaale selbst ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmässiger, sie in einem Wohnzimmer oder Büreau — natürlich an einem iso-

lirten Pfeiler — aufzustellen, wo sie keiner grossen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und einen gleichmässigen Gang einhalten kann.

Eine registrirende Uhr lässt sich ferner noch mit dem elektrischen Telegraphen in Verbindung bringen und zu mannigfaltigen Zwecken benutzen. Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der Durchgang derselben Sterne durch den Meridian beobachtet wird, so lässt sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische Längendifferenz ableiten.

Um zu bewirken, dass der Strom bei jedem Pendelschlage der Normaluhr auf kurze Zeit geschlossen wird, hat man verschiedene Vorrichtungen construirt, von denen die in Fig. 468 dargestellte, unseres Wissens von Lamont herrührende, wohl die einfachste sein dürfte. An dem unteren Ende des ganz metallischen Pendels ist ein vertical herabreichendes Platinblättchen p eingesetzt, welches bei jedem Pendelschlage und zwar gerade in dem Momente, in welchem das Pendel seine Gleichgewichtslage passirt, die Quecksilberkuppe q durchschneidet. Diese Quecksilberkuppe bildet die obere Gränze einer Quecksilbersäule, welche sich in dem aus Glas oder Elfenbein gebildeten Quecksilbernäpfchen s befindet und in welche von unten her der kupferne Leitungsdraht r hineinragt.

Fig. 468.

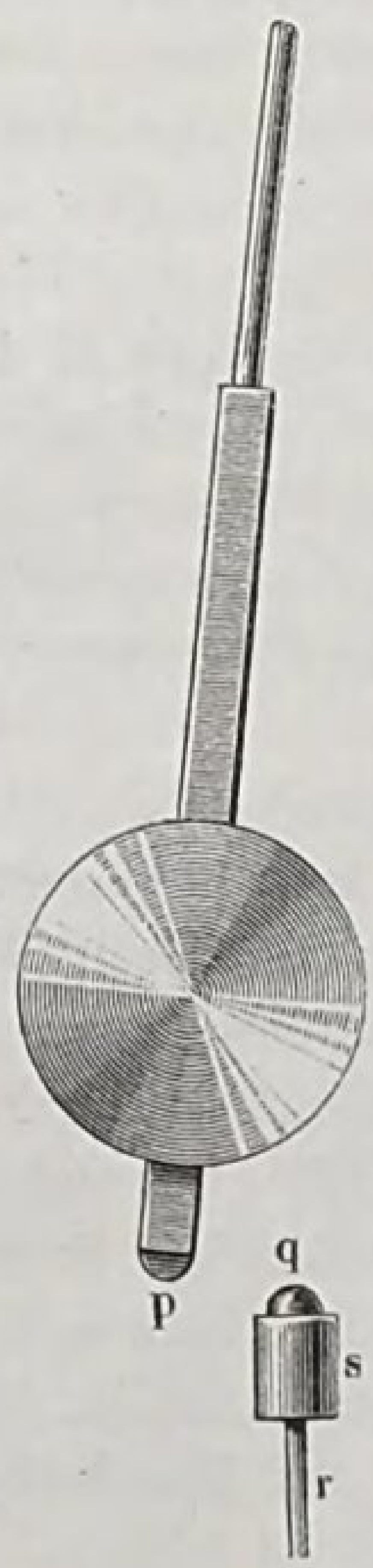
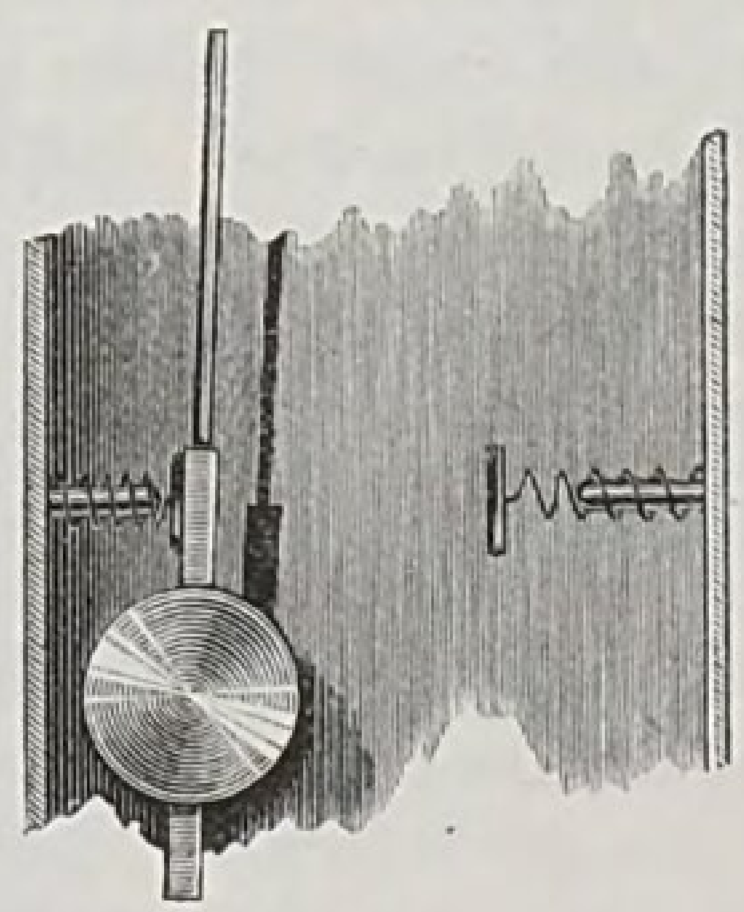


Fig. 469.



Durch ein communicirendes Gefäss (in der Figur nicht sichtbar), in welchem eine grössere Quecksilbermenge im Niveau von q enthalten ist, wird dafür gesorgt, dass das bei q durch das Pendel weggestreifte Quecksilber sofort erneuert wird. Jener Strom, welcher die Secundenpunkte zu markiren hat, wird nun über r, s, q in das Pendel und von dort weiter zum Elektromagneten geleitet. Offenbar wird er jedesmal auf einen Moment geschlossen, so oft das Pendelende p die Quecksilberkuppe q passirt.

Eine andere, aber weniger genau arbeitende, von Buff herrührende Vorrichtung, um den Strom mit jedem Pendelschlage der Uhr zu schliessen, ist Fig. 469 dargestellt. An jeder Seite des Uhrkastens ist etwas über der Höhe der Pendellinse eine schwache Spiralfeder von Metalldraht angebracht, deren Axe horizontal steht, und welche an dem nach Innen

gekehrten Ende eine kleine Metallplatte trägt. Jede dieser beiden Spiralen ist nun mit dem einen, etwa dem positiven Pol der elektromotorischen Batterie, in leitende Verbindung gesetzt. Wenn nun das metallische Pendel an dem einen Ende seiner Bahn ankommt, so kommt es mit dem entsprechenden Metallblättchen in Berührung, und zwar wird dabei die Spiralfeder etwas comprimirt, damit ein hinlänglicher Contact zwischen dem Metallblättchen und der Pendelstange stattfindet, wie dies auf der linken Seite unserer Figur dargestellt ist. Von der comprimirten Spiralfeder geht nun der Strom durch das metallische Pendel zu dem messingenen Gestelle der Uhr, um endlich von diesem durch die Windungen des Elektromagnets zum anderen Pole des Elektromotors zurückzukehren.

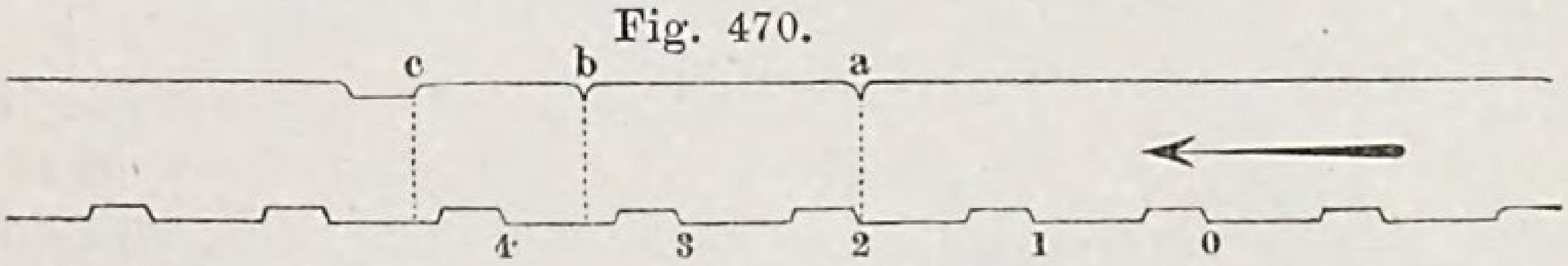
Wenn nun das Pendel von der in Fig. 469 dargestellten Lage zurückgeht, so wird der Strom alsbald unterbrochen, um erst wieder hergestellt zu werden, wenn das Pendel am anderen Endpunkte seiner Bahn angekommen ist.

Der eigentliche Registrirapparat wurde später durch Anwendung von Schwarzschreibern wesentlich vervollkommnet. Hasler in Bern construirt dieselben in folgender Weise. Der 22 mm breite Papierstreifen wird mit gleichförmiger Geschwindigkeit über einer ebenen horizontalen Metallplatte hingezogen; auf diesem Papierstreifen laufen beständig die Rädchen zweier Schwarzschreiber so, dass, wenn die Elektromagnete ganz ausser Thätigkeit blieben, zwei parallele ungefähr 8 mm von einander abstehende Linien gezogen würden.

Jeder der beiden Schwarzschreiber ist nun mit einem Elektromagneten verbunden, durch dessen Schliessung er in horizontaler Richtung etwas gegen den anderen Schwarzschreiber hin verschoben wird.

Der eine Elektromagnet wird mit jedem Pendelschlage der Uhr auf kurze Zeit geschlossen und so die Secunden in der Weise markirt, wie es die untere Linie der Fig. 470 darstellt, welche die Copie eines mit einem

Fig. 470.



solchen Apparate beschriebenen Papierstreifens ist. Man ersieht aus dieser Figur, dass der Papierstreifen in jeder Secunde ungefähr 10·75 mm fortgezogen wird und dass der von der Uhr kommende Strom in jeder Secunde auf die Dauer von ungefähr 0·4 Secunden geschlossen bleibt.

Die Beobachtungsmomente werden nun auf der oberen Linie markirt und zwar wie man bei *a* und *b* sieht, wenn die Schliessung nur ganz kurz, oder wie man bei *c* sieht, wenn die Schliessung etwas länger dauert.

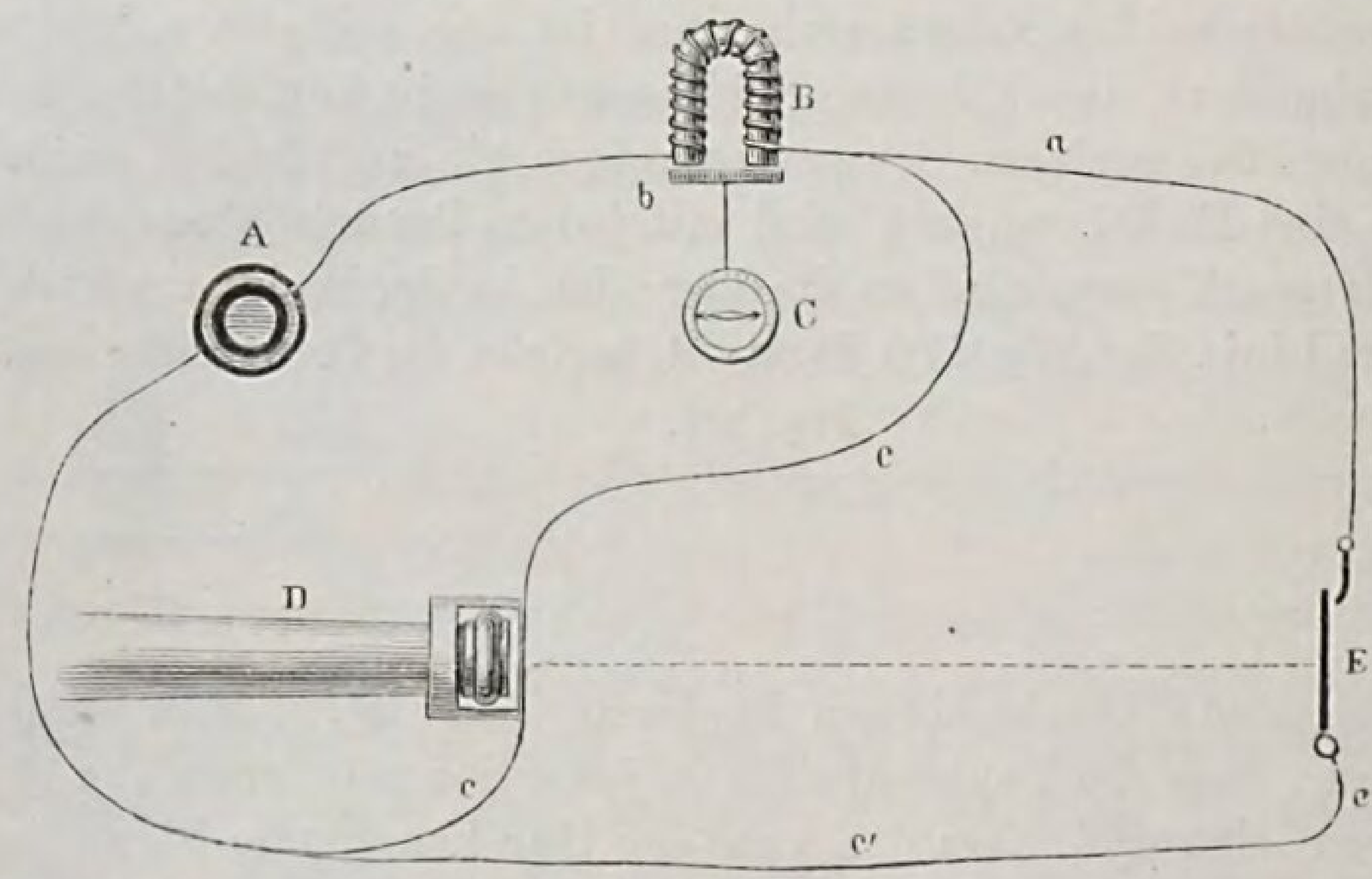
Lamont hat den Papierstreifen durch eine mit Russ geschwärzte Metalltrommel ersetzt, welche durch ein Uhrwerk

mit gleichförmiger Geschwindigkeit um ihre horizontale, auf beiden Seiten der Walze vorragende stählerne Axe gedreht wird. Die eine Hälfte dieser Axe ist nun (ähnlich wie bei dem Phonautograph von König, Bd. I, S. 515 und 553) mit einem Schraubengewinde versehen, so dass beim Umdrehen der Walze auch ein gleichförmiges Fortschieben derselben in der Richtung ihrer Längenaxe stattfindet; die Secundenpunkte, welche durch einen in Folge der Schliessung der Kette an die Walze angedrückten Stift hervorgebracht werden, bilden demnach auf derselben eine flache Spirale.

Die Beobachtungspunkte werden durch einen dicht neben dem ersteren angebrachten Stift markirt. (Lamont's Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate, München 1851.)

159 **Das elektrische Chronoskop.** Während die im vorigen Paragraphen beschriebenen Registrirapparate dazu dienen, einen absoluten Zeitmoment zu notiren, sind die hier zu beschreibenden dazu bestimmt, kleine Zeitunterschiede oder Zeiträume zu messen. Wheatstone benutzte zuerst zu diesem Zwecke den elektrischen Strom; seine nächste Absicht war, die Zeit zu messen, welche Geschützkugeln zum Durchlaufen beliebiger Strecken ihrer Bahn brauchen. Seine Einrichtung zeigt die schematische Fig. 471. *A* ist die elektrische Batterie; einer ihrer Pole ist mit dem Elektromagnet *B* verbunden; ist der Strom geschlossen und

Fig. 471.



also der Anker des Magnets angezogen, so steht die Uhr *C* still; verliert aber der Magnet seine Kraft, so zieht eine Feder den Anker *b* ab und dadurch wird das Uhrwerk *C* ausgelöst und läuft so lange, bis der Strom wieder geschlossen wird. Dieses Oeffnen und Schliessen der Kette bewirkt die Kugel auf folgende Weise. Um die Mündung des Geschützes *D* ist ein Holzring gelegt, über welchen der Draht *c* gespannt ist, wel-

cher einerseits zum Elektromagnet B, andererseits zum Elektromotor A führt; diese Verbindung wird durch die aus dem Rohr tretende Kugel zerrissen, die Kette geöffnet, und so die Uhr in Bewegung gesetzt. Ein zweiter Draht c' ist mit einem in beliebiger Entfernung aufgestellten Ziele E verbunden, welches so eingerichtet ist, dass die geringste Bewegung, welche ihm mitgetheilt wird, eine kleine Metallfeder in dauernde Berührung mit einem Metallstücke bringt, welches durch den Draht a mit demselben Pole des Magnets verbunden ist wie der Draht c. Berührt nun die Kugel das Ziel, so wird dadurch die Kette abermals geschlossen, der Anker angezogen und das Uhrwerk gestellt. Der Zeiger giebt nun die von der Kugel verwendete Zeit an.

Das Chronoskop C muss natürlich so eingerichtet sein, dass es noch sehr kleine Unterabtheilungen einer Secunde angeben kann.

Wheatstone fand eine bedeutende Fehlerquelle darin, dass der Anker (der wie beim Morse'schen Telegraph ohnehin nicht ganz in Berührung mit den Polen des Elektromagnets kommen darf) nicht rasch genug vom Elektromagneten abfiel und ebenso nicht rasch genug angezogen wurde; aus diesem Grunde hält Wheatstone selbst seine Messungen nur bis auf $\frac{1}{60}$ Secunde genau.

In Wheatstone's Chronoskop erkannte Hipp als Hauptfehler den Umstand, dass das Uhrwerk erst beim Beginne der zu messenden kleinen Zeit in Gang gesetzt wird, wobei nothwendig eine grössere, jedoch für alle Versuche etwa gleiche Zeit verstreicht, bis das Werk in gleichförmigen Gang gekommen ist, eine Zeit, die in manchen Fällen selbst grösser sein wird, als die zu messende.

Hipp änderte nun den Apparat dahin ab, dass er den Elektromagnet nicht dazu verwandte, das Uhrwerk auszulösen und zu stellen, sondern nur dazu, die Verbindung des Zeigers mit dem schon im Gang befindlichen Uhrwerk herzustellen und zu unterbrechen.

Werner Siemens hat schon 1845 vorgeschlagen, die Fehlerquellen, welche den Verfahrungsweisen von Wheatstone, Breguet, Hipp und Anderen noch immer anklebten, dadurch zu vermeiden, dass man die Zeitmarken direct durch elektrische Funken auf die polirte Oberfläche eines rasch rotirenden Cylinders einbrennen lässt. Diese Idee, welche im Wesentlichen auch einer weiter unten mitgetheilten von v. Babo ausgeführten Methode zu Grunde liegt, hat W. Siemens vor einigen Jahren mit Erfolg benutzt, um die Geschwindigkeit der Geschosse innerhalb des Rohres des Geschützes zu messen. Der rotirende Cylinder drehte sich genau 100 mal in der Secunde und gab bei jeder Umdrehung einen Schlag auf ein Glöckchen, welcher mit dem eines Secundenpendels übereinstimmen musste. Der Mantelfläche gegenüber befand sich sehr nahe eine Metallspitze, welche mit den äusseren Belegungen einer Reihe isolirter Leydener Flaschen in leitender Verbindung stand. Die innere Belegung jeder einzelnen Flasche stand durch einen mit Guttapercha isolirten Draht in Verbindung, welcher, die Geschützrohrwandungen durchsetzend, in die

Seele (den Hohlraum) des Geschützrohres hineinreichte. Beim Abfeuern des Geschützes berührt das Geschoss jeden dieser Drähte und stellt deren Ableitung zur Erde her. Da auch der rotirende Cylinder zur Erde abgeleitet ist, so entladen sich der Reihe nach die Flaschen und es entstehen eine Reihe von Funkenspuren auf der Mantelfläche. Durch Messung der Winkelabstände derselben erhält man dann leicht die Zeitdifferenzen und hieraus die Geschwindigkeiten des Geschosses an seinen verschiedenen Stellen im Rohr. Nach derselben Methode hat W. Siemens auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes in Eisendrähten gemessen und zu 240 000 km (31 000 geographische Meilen) gefunden.

Bei Messungen dieser Art bildet die Herstellung einer gleichförmigen Rotationsgeschwindigkeit und die Bestimmung derselben Schwierigkeiten. Helmholtz hat diese bei seinem zu physiologischen Versuchen bestimmten Myographion dadurch umgangen, dass er dem rotirenden Cylinder eine allmälig steigende Geschwindigkeit ertheilte und die Messung in dem Momente einleitete, in welchem eine bestimmte Rotationsgeschwindigkeit erreicht wurde. In diesem Moment wird nämlich eine mitrotirende, durch Federkraft gegen die Rotationsaxe gedrückte Masse durch die Centrifugalkraft nach Aussen geschleudert, und diese Bewegung dann zur Auslösung derjenigen Bewegungen benutzt, deren Dauer und Verlauf auf dem berussten Cylinder verzeichnet werden soll. Ausser von Helmholtz sind noch von anderen Physiologen solche Myographions construirt worden; so z. B. das von Valentin, welcher statt des Cylinders eine rotirende Scheibe anwendete, das von Thiry, welcher wie Foucault das Uhrwerk durch eine Syrene ersetzte, das Fallmyographion von Harless und Jendrássik, das Pendelmyographion von Fick, welches Helmholtz später verbessert hat und das Federmyographion von Du Bois Reymond, über welche Apparate man in physiologischen Werken nähere Mittheilungen findet. Uebrigens dienen diese Apparate nicht allein zur Messung kleiner Zeiträume, sondern insbesondere auch zur graphischen Aufnahme von allerlei zeitlich verlaufenden Veränderungen und Bewegungen. Die Schwierigkeiten der Herstellung einer bestimmten oder constanten Rotationsgeschwindigkeit des berussten Cylinders entfallen gänzlich durch Anwendung der Stimmgabel beim Vibrations-Chronoskop von v. Babo. Offenbar lässt sich nämlich die in Band I, §. 187 beschriebene Methode zur Messung der Schwingungszahl einer Stimmgabel umgekehrt benutzen, um kleine Zeiträume zu messen. Man hat nur nöthig, auf der berussten Trommel neben einander zwei Schreibspitzen schreiben zu lassen, von denen die eine beim Beginn und beim Ende des zu messenden Zeitraumes als Zeitmarken rasche Seitenzuckungen in Folge elektromagnetischer Einwirkung ausführt, während die zweite Spitze die Schwingungen einer Stimmgabel bekannter Schwingungszahl aufzeichnet. Ist diese Schwingungszahl $= n$ (per Secunde) und liegen m ganze Hin-

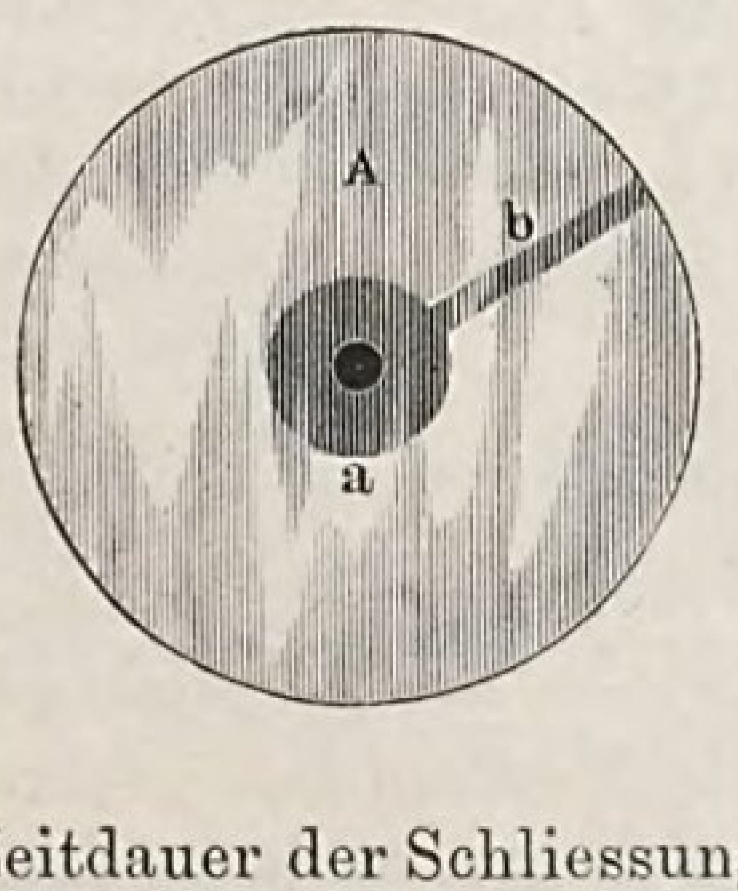
und Hergänge zwischen der ersten und zweiten Zeitmarke, so sind dieselben um $\frac{m}{n}$ Secunden von einander entfernt.

Noch einfacher und genauer wird das Verfahren, wenn man die Zeitmarken nicht durch eine eigene schreibende Spitze, sondern, wie oben bei Siemens' Methode, durch einen elektrischen Funken hervorbringen lässt, welcher durch dieselbe Spitze überschlägt, welche die Stimmgabelschwingungen aufzeichnet. Wir haben den zugehörigen Apparat bereits an der citirten Stelle des I. Bandes beschrieben. Hier möge noch das Vibrations-Chronoskop von v. Beetz erwähnt werden, welches auf demselben Principe beruht, aber statt einer Cylinderfläche eine ebene Zeichenfläche aus verzinntem Eisenblech benutzt, welche mit roth gefärbtem Schellackfirniss überzogen und dann angerusst ist. Die Schreibspitze der an einem Schlitten befestigten mit freier Hand längs einer Führung parallel der Schreibfläche abgezogenen Stimmgabel beschreibt dann eine rothe Curve, auf welcher die durch einen Inductionsfunken hervorgebrachten Zeitmarken als kleine weisse Punkte sichtbar sind. (Näheres hierüber in Pogg. Annal. 135, pag. 126, sowie in Edelmann's „Neuere Apparate" pag. 31.)

Auf ganz anderem Wege suchte Pouillet die Messung kleiner Zeiträume zu bewerkstelligen. Er ging nämlich von der Ansicht aus, dass die Grösse des durch einen vorübergehenden Strom bewirkten Ausschlages der Multiplicatornadel von der Stärke des Stromes und von der Zeit abhänge, während welcher derselbe auf die Nadel wirkt, wenn diese letztere überhaupt nur kurz ist. Man kann also aus dem unter verschiedenen Umständen erfolgenden Ausschlage auf die Zeit schliessen, wenn immer der gleich starke Strom angewendet wird und das Verhältniss zwischen Zeit und Ausschlag bekannt ist. Pouillet hat das letztere nicht theoretisch entwickelt, sondern durch Versuche auf folgende Weise eine Tabelle construirt.

Auf eine runde Glasplatte A, Fig. 472, von 84 cm Durchmesser, welche um ihre Axe gedreht werden konnte, wurde rund um die Axe herum ein ziemlich breiter kreisförmiger Stanniolstreifen a, von diesem aus aber ein gerader Streifen b als Halbmesser geklebt, der nur 1 mm Breite hatte. Von den beiden Drahtenden der Kette ruhte das eine federnd auf dem Stanniolring a, das andere auf der Platte; wird letztere gedreht, so schliesst sich die Kette so oft und so lange, als sich der Stanniolstreifen b unter der Feder befindet. Man kann nun aus der Umdrehungszeit der Glasscheibe und der Entfernung der zweiten Feder von der Axe die

Fig. 472.



Zeitdauer der Schliessung leicht bestimmen; sie war bei Pouillet, wenn

die zweite Feder nahe am Rande der Glasplatte auflag und diese in einer Secunde einmal umgedreht wurde, $^1/_{2250}$ Secunde.

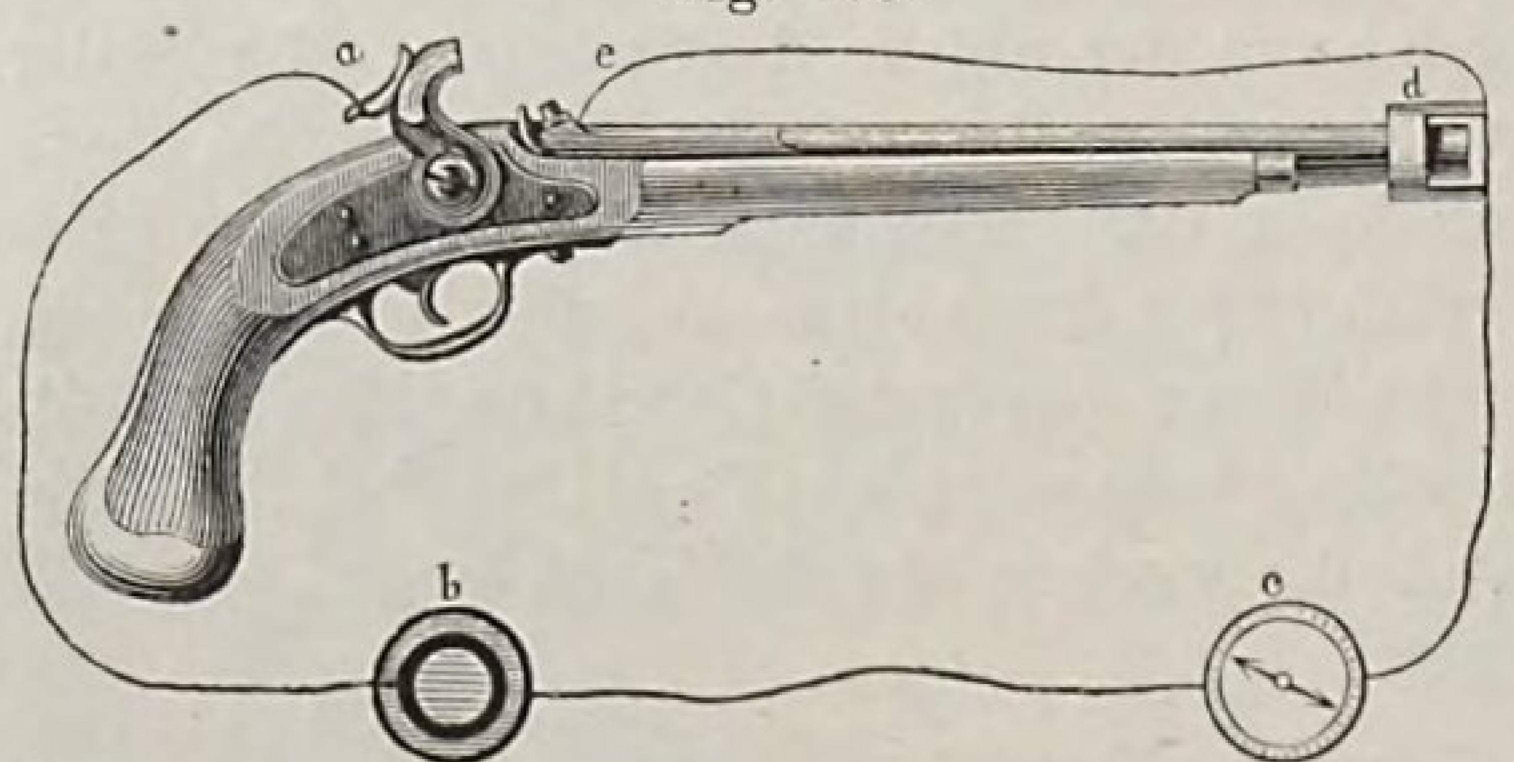
Für einen 5 mal breiteren Stanniolstreifen würde unter den gleichen Umständen die Schliessung $^1/_{450}$, für einen 10 mm breiten würde sie $^1/_{225}$ Secunde zu dauern haben.

Mit Hülfe solcher Scheiben muss nun ermittelt werden, wie gross an einem bestimmten Multiplicator der Ausschlag ist, wenn der Strom einer gegebenen Säule, etwa eines einfachen Daniell'schen Bechers, bei einem gegebenen Schliessungsbogen auf die Dauer eines zu bestimmenden Bruchtheils einer Secunde geschlossen wird. Nehmen wir z. B. an, eine Schliessung von $^1/_{300}$ Secunde habe einen Ausschlag von 5, eine Schliessung von $^1/_{100}$ Secunde habe einen Ausschlag von 15^0 gegeben, so kann man annehmen, dass bis zu 15^0 der Ausschlag der Schliessungsdauer umgekehrt proportional ist.

Nach solchen vorbereitenden Versuchen wird man die Dauer einer auf andere Weise hervorgebrachten Schliessung berechnen können, welche von demselben Multiplicator bei gleicher Säule und gleichem Schliessungsbogen irgend eine Ablenkung zwischen 0^0 und 15^0 hervorbringt.

Pouillet hat nach diesem Princip Versuche über die Geschwindigkeit der Pulverentzündung gemacht, wobei er folgende Vorrichtung benutzte. Das Schloss eines Gewehres wurde vom Laufe isolirt, und der Hahn *a*, Fig. 473, mit dem einen Pol einer Volta'schen Batterie *b* verbunden. Von dem anderen Pole führte ein Draht zum Multiplicator *c* und von diesem über einen Holzring *d* vor der Mündung des Gewehres weg an das Zündhütchen *e*. Die Kette war also geschlossen von dem Augenblicke an, wo der Hahn aufschlug, bis zu jenem, wo die Kugel den Lauf verliess.

Fig. 473.



Nehmen wir z. B. an, er habe bei Anwendung obiger Instrumente gefunden, dass das Losschiessen der Pistole eine Ablenkung von 10^0 bewirkt, so würde man daraus schliessen können, dass die Kugel $^1/_{150}$ Secunde braucht, um die Länge des Pistolenlaufes zu durchlaufen.

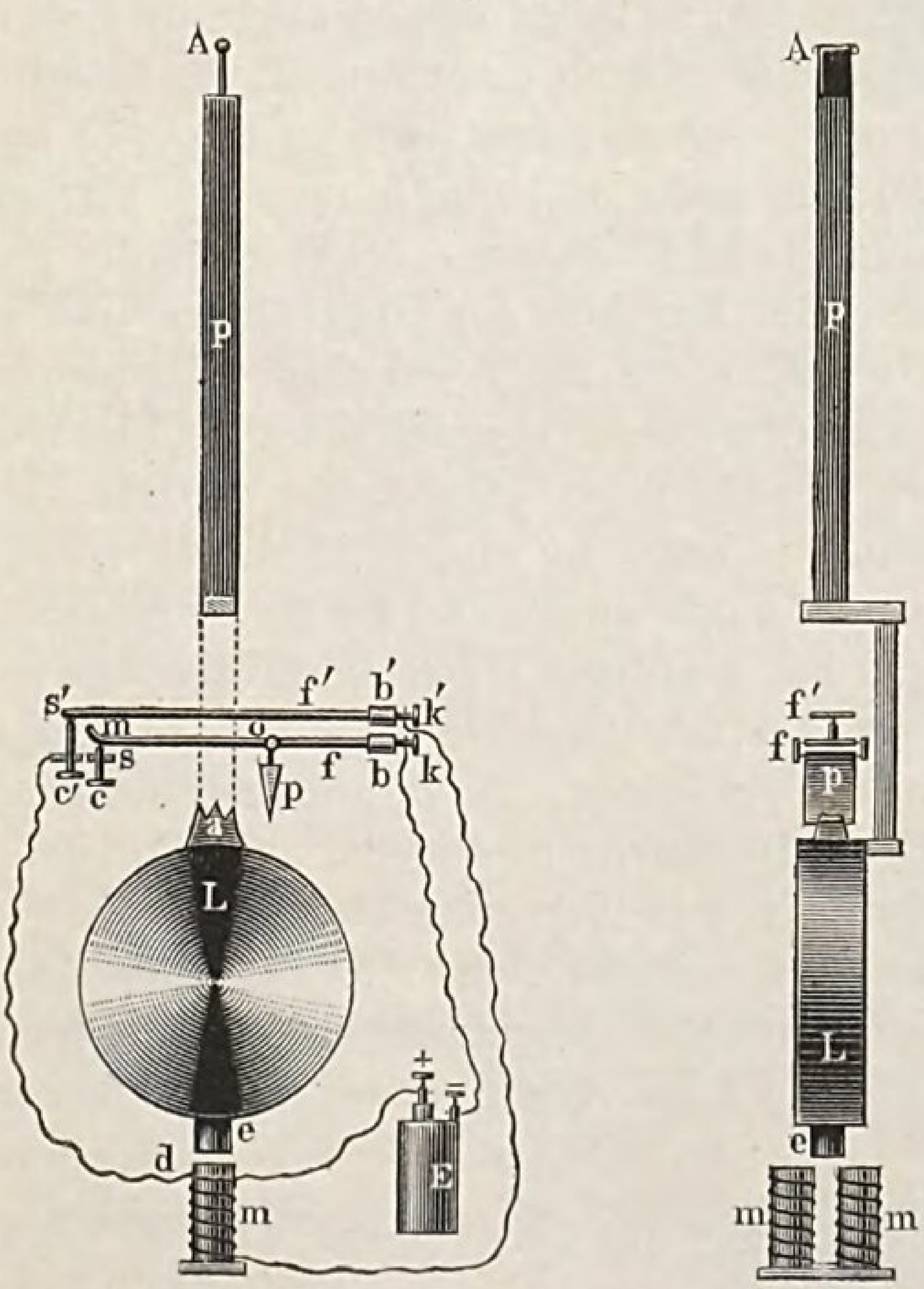
160 **Elektrische Uhren.** Zu den elektrischen Uhren im weitesten Sinne rechnet man drei verschiedene Apparate, nämlich das elektrische Pendel (mit oder ohne Zeigerwerk), das elektrische Zeigerwerk (ohne Pendel) und die elektrischen Uhrcorrectoren.

I. Das elektrische Pendel.

Bald nach Entdeckung der Zamboni'schen Säule hat man versucht, dieselbe zum Betriebe elektrischer Pendel und weiterhin von Uhren zu verwenden. (Siehe §. 83, Fig. 230, S. 250.) Diese Versuche scheiterten an der Geringfügigkeit und Inconstanz der so erhaltenen Triebkraft und konnten erst nach der Erfindung der constanten Hydroketten und des Elektromagnetismus mit Erfolg wieder aufgenommen werden. Bei den elektrischen Pendeln wird durch elektromagnetische Anziehung entweder bei jedem Pendelschlage oder erst nach einer Reihe von Pendelschwingungen, sobald die Amplitude bis unter eine gewisse Gränze abgenommen hat, dem Pendel ein neuer Impuls ertheilt, so dass es im Schwingen erhalten wird. Der erstere Weg wurde von Bain und Weare eingeschlagen, der letztere von Hipp u. A. Ausserdem sind noch Constructionen zur Ausführung gelangt, bei welchen der Antrieb des Pendels durch eine Feder oder einen Fallhebel, welche durch den Anker eines Elektromagnets ausgelöst werden, bewirkt wird (Systeme von Liais, Kramer, Geist, Arzberger u. A.).

Ist das elektrische Pendel selbst mit einem Zeigerwerk unmittelbar verbunden, so werden beide zusammen auch elektromagnetische Uhr genannt. Häufig dient das elektrische Pendel aber nur zum elektrischen Betriebe abgesonderter Zeigerwerke. Wir wollen hier als Beispiel das elektrische Pendel von Hipp beschreiben. Die schematische Fig. 474 zeigt die wesentlichen Theile desselben. In dem Punkte A ist mittelst einer Stahlfeder die Pendelstange P, welche an ihrem unteren Ende die schwere Scheibe L und den Eisenanker e trägt, aufgehängt. Unterhalb dieses Ankers befindet sich der Elektromagnet m. Die Pendelstange ist in der halben Höhe gekröpft, wie aus der Seitenansicht zu ersehen ist. a ist ein aus Achat oder glashartem Stahl bestehendes auf die Pendellinse aufgesetztes Gleitstück, welches mehrere von vorn nach rückwärts verlaufende Furchen trägt. An den isolirten Metallstücken

Fig. 474.



b und *b'* sind zwei horizontale Stahlfedern *f* und *f'* eingespannt, von denen die untere *f* für gewöhnlich an dem nichtleitenden Stifte *s*, die obere *f'* an dem leitenden Stifte *s'* anliegt. Die untere Feder ist an ihrem freien Ende mit einer nach aufwärts gerichteten Contactspitze *m* versehen, ausserdem trägt sie das um die Axe *o* leicht bewegliche nach abwärts hängende keilförmige Plättchen *p* aus Stahl, welches die Palette genannt wird. Endlich sind noch die Verbindungsleitungen ersichtlich. Die eine von dem + Pole der Batterie ausgehende umkreist den Elektromagneten, führt dann zu *k'* und *f'* und geht, sobald der Contact bei *m* geschlossen wird, über diesen nach *f*, *b*, *k* zum negativen Pole zurück. Ausserdem ist noch die Zweigleitung *d c'* eingefügt, welche mit Ausschaltung der Batterie eine Schliessung der Drahtwindungen des Elektromagneten herstellt, sobald der Contact *s'* geschlossen wird.

Die Wirksamkeit des Apparates ist nun folgende. Das Pendel wird von Anfang an mit freier Hand so weit in Bewegung gesetzt, dass sich das Gleitstück *a* vollständig unter der Schneide der Palette *p* vorbei bewegt. Beim Hin- und Herschwingen schleift dann die Palette bald von links nach rechts, bald in umgekehrter Richtung geneigt über das Gleitstück *a* hinweg, ohne dass dadurch die Axe der Palette *o* gehoben wird. Der Strom bleibt während dieser Zeit ganz unbenutzt weil der Stromkreis bei *m* unterbrochen ist, in Folge dessen auch die Eisenkerne *m* unmagnetisch bleiben. Hat aber nach einer Anzahl von Schwingungen die Amplitude so weit abgenommen, dass, wie in Fig. 475 angedeutet ist, das Gleitstück *a* nicht mehr vollständig unter *p* hinweg geführt wird, so stemmt sich dann beim Rückgange des Pendels die Palette mit ihrer Schneide in eine der Furchen des Gleitstückes und es wird in Folge dessen die Axe *o* und die Feder *f* gehoben. Hierdurch wird der Contact *m*, geschlossen, der Strom magnetisirt den Elektromagneten *m*, welcher nun stark anziehend auf den Anker *e* wirkt, bis dieser die tiefste Lage angenommen hat. In diesem Momente ist die Palette wieder ausser Verbindung mit *a* gekommen und der Strom demnach wieder unterbrochen. Das Pendel hat hierdurch einen so starken Antrieb erhalten, dass es nun wieder längere Zeit mit grösserer Amplitude schwingt. Die Verbindung *d c'* hat nun noch den Zweck, zu verhindern, dass bei *m* ein Unterbrechungsfunke (Inductionsstrom) entsteht. Sobald nämlich die Feder *f* wiederum niedergeht, legt sich einen Moment bevor der Contact *m* geöffnet wird, die Feder *f'* auf den Stift *s'*, so dass sich der in den Windungen des Elektromagnets entwickelte Inductionsstrom längs der Leitung *d c' s' k' d* entladen kann, wodurch der Contact bei *m* geschont wird.

Wie das Pendel dann zum Betriebe der Uhr benutzt werden kann, haben wir bereits Bd. I, §. 127 gezeigt.

II. Das elektrische Zeigerwerk, welches häufig elektrische Nebenuhr genannt wird.

Bei diesem wird die Bewegung der Zeiger von Secunde zu Secunde oder häufiger von Minute zu Minute durch einen elektrischen Strom vermittelt, welcher durch ein elektrisches Pendel oder eine Centraluhr geschlossen wird. Die letztere kann selbst eine elektromagnetische Uhr oder eine gewöhnliche gut gehende Uhr (Normaluhr) sein. Eine sehr einfache Construction eines elektrischen Zeigerwerks ist jene von Bain, welche durch die schematische Zeichnung Fig. 476 erläutert wird. Es

Fig. 475.

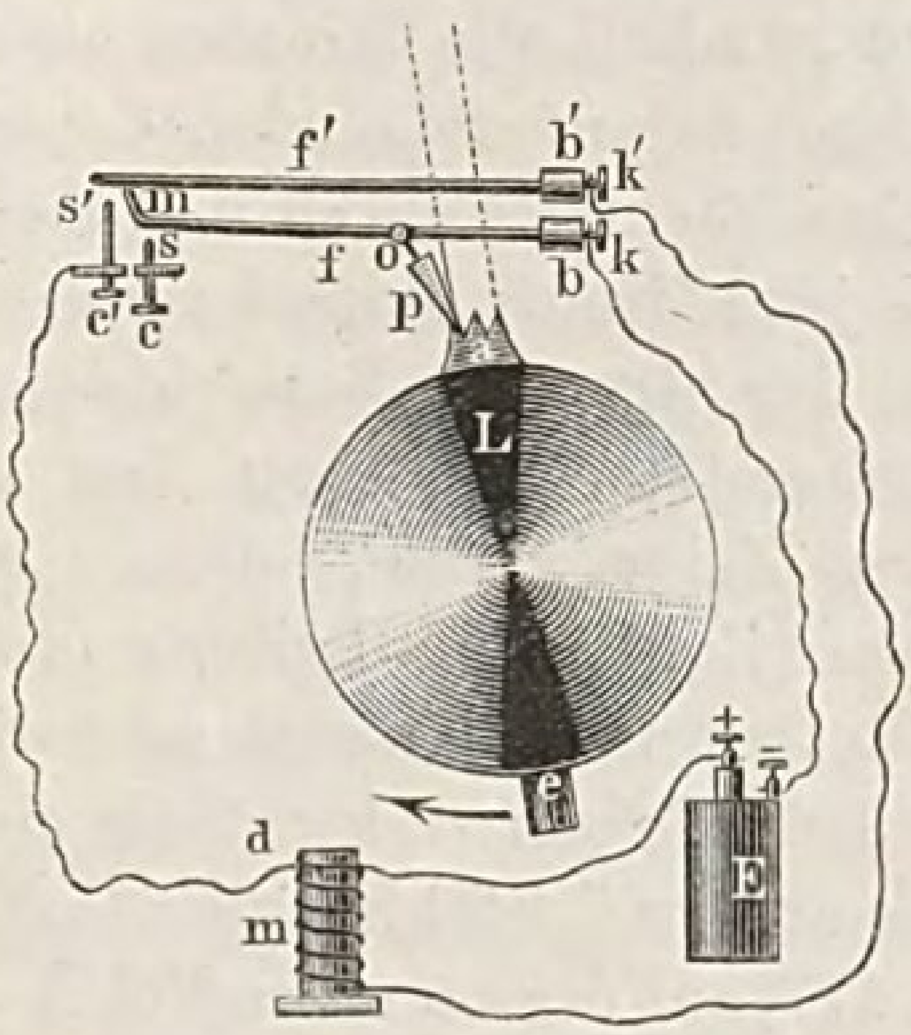
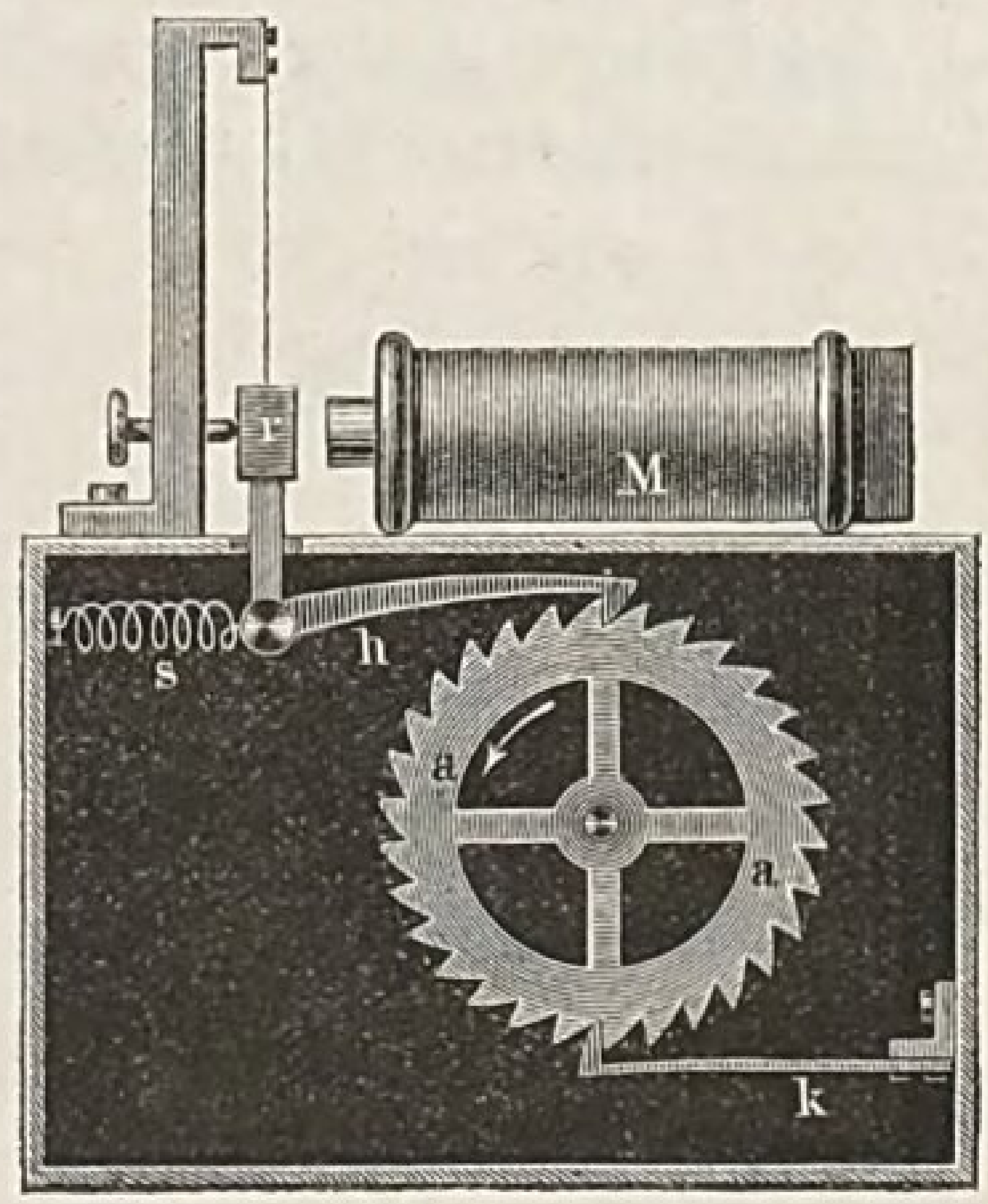


Fig. 476.



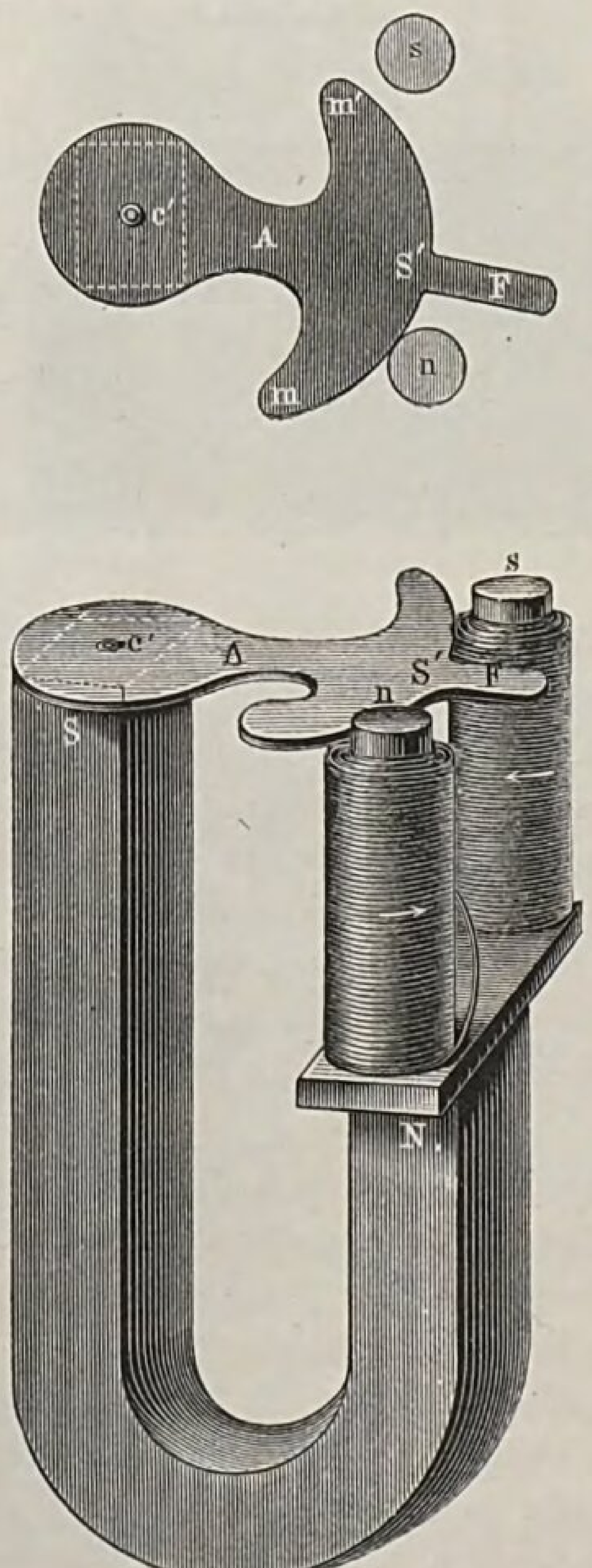
sei *a* ein Zahnrad von 60 Zähnen, welches die Stelle des Secundenrades vertritt. Die Drehung dieses Rades wird aber nun durch den Elektromagneten *M* in folgender Weise regulirt. So oft der Strom geschlossen wird, in dessen Kreis die Windungen des Elektromagnets *M* eingeschaltet sind, wird der Kern desselben magnetisch und zieht den Anker *r* an; dieser Anker trägt aber das Stäbchen *h*, welches mit einem in die oberste Zahnlücke des Rades *a* eingreifenden Haken endet. Sobald *r* angezogen wird, wird *h* nach rechts bewegt, so dass der Haken über dem Rücken des nächsten Zahnes weggleitet und in die nächste Zahnlücke einfällt.

Wird der Strom unterbrochen, so wird der Haken *h* durch die Spiralfeder *s* zurückgezogen und dadurch das Rad *a* um einen Zahn in der Richtung des kleinen Pfeiles fortgeschoben. — Der Sperrhaken *k* verhindert eine rückgängige Bewegung des Rades *a*.

Wird nun der Strom in jeder Secunde auf kurze Zeit geschlossen, so wird das Rad *a* in jeder Secunde um einen Zahn fortgeschoben; die Bewegung des Secundenrades *a* wird dann in der gewöhnlichen Weise auf ein Minuten- und ein Stundenrad übertragen, und so ist ein Uhrwerk hergestellt, dessen Gang vollkommen mit dem Gang der Normaluhr harmonirt, welche in jeder Secunde die Schliessung und die sofort erfolgende Oeffnung des Stromes besorgt.

Diese Construction fungirt jedoch nicht mit der nöthigen Sicherheit. Wird nämlich der Contact in der Normaluhr durch schleifende Federn vermittelt, so geben diese leicht durch Vibriren zu wiederholten Contacten Anlass; auch bringt oft die atmosphärische Elektricität Ströme hervor, welche dann das Steigrad öfter vorwärts schieben, als sein sollte. Die Hubhöhe des Ankers r kann nur gering sein, da sonst ein zu starker Strom benöthigt wird; dies hat aber Schwierigkeiten in der Mechanik des Apparates zur Folge. Um diesen Uebelständen abzuhelfen, verwendet Hipp Ströme mit wechselnder Richtung und polarisirte Anker. Durch das Räderwerk der Normaluhr wird nämlich alle Minuten einmal ein Commutator verstellt, so dass bei dem darauf folgenden Contact, welcher ebenfalls durch das Räderwerk jede Minute einmal vermittelt wird, der Strom der Batterie in entgegengesetzter Richtung dem einzelnen Zeigerwerke, deren eine grössere Zahl in die Leitung eingeschaltet werden kann, entsendet wird.

Fig. 477.

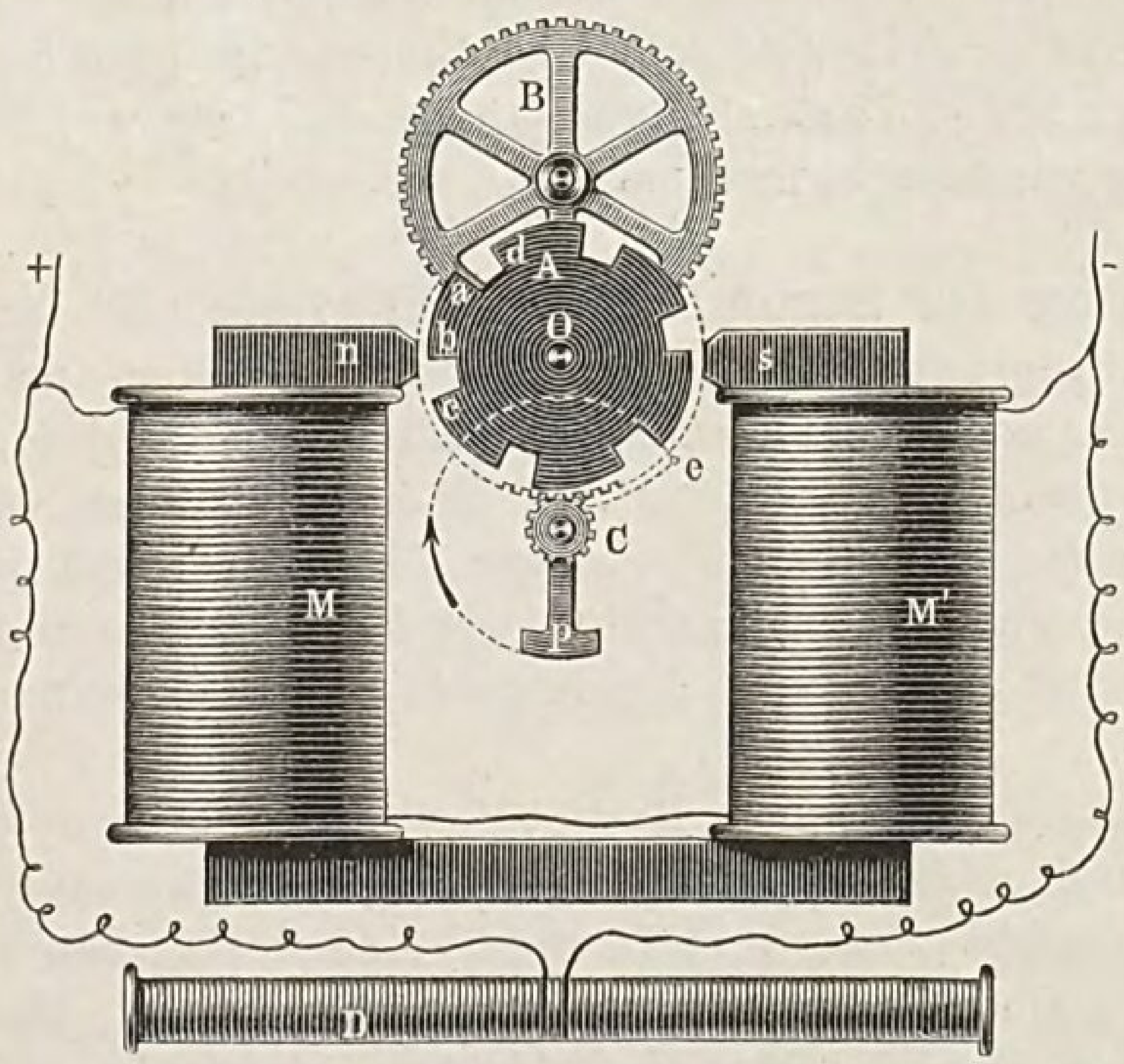


Jedes Zeigerwerk enthält einen permanenten Stahlmagnet $N\,S$, Fig. 477, auf dessen einen Pol N ein Hufeisenelektromagnet aufgesetzt ist, so dass sich also der Pol des Stahlmagnets in die beiden Schenkel des Hufeisenelektromagnets gabelt. Durch Influenz werden daher die Pole des Elektromagnets, so lange kein Strom geht, gleichnamig magnetisch. Geht ein Strom durch die Windungen, so verstärkt derselbe den Magnetismus des einen Pols und vertauscht den des anderen in den entgegengesetzten. So wird beispielsweise in Fig. 477 der vordere Pol n nordmagnetisch, der rückwärtige s südmagnetisch, wenn der Strom in der Richtung des Pfeiles geht. Der um die Axe C drehbare Anker A wird nun zwischen den Polen des Elektromagnets so angebracht, dass er mit seinem Fortsatz F zwischen beiden hin und her schwingen kann. Durch Influenz von Seite des Stahlmagnets wird der Anker derartig magnetisirt (polarisirt), dass er an dem gegen die Pole

n, s gerichteten Theile s' einen Südpol erhält, er wird daher von s abgestossen, von n angezogen. Die Form des Ankers (Patent von Hipp), insbesondere das dessen Aussenfläche begränzende excentrische Kreissegment $m m'$ hat zur Folge, dass derselbe trotz grosser Nähe an den Polen dennoch einen bedeutenden Weg (Drehung um 60°) zurücklegen kann, um von einer extremen Stellung zur anderen zu gelangen. Die auf einander folgenden wechselnden Ströme bewegen ihn hin und her. Kommt nun durch irgend einen Zufall, z. B. durch atmosphärische Elektricität innerhalb der Minute zum wiederholten Male derselbe Strom zu Stande, so findet derselbe entweder seine Arbeit schon gethan, oder falls er den Anker bewegt, so hat dann der nächstfolgende normale Stromschluss Nichts mehr zu thun. Es kann daher hierdurch keine dauernde unrichtige Zeigerstellung hervorgebracht werden. Der weitere Mechanismus, den wir hier übergehen, ist nämlich derartig, dass jede Bewegung des Ankers, sowohl hin als her, den Minutenzeiger um 1 Minute vorschiebt. Näheres hierüber in Schneebeli: „die elektrischen Uhren", Zürich 1878.

Eine sehr einfache und sinnreiche Construction besitzt Arzberger's elektrisches Zeigerwerk, wovon in Fig. 478 die wesentlichen Theile schematisch abgebildet sind. Man erkennt sofort den Elektromagnet MM' mit

Fig. 478.



den beiden Polen in n und s, zwischen denen ein radförmiger Anker A aus weichem Eisen um die Axe O drehbar befestigt ist. Die 6 Zähne des Ankers sind am Aussenrande von excentrischen Kreisbögen begränzt, derart, dass der Radius $o\,a$ grösser als der Radius $o\,b$ ist, u. s. f. bei jedem Zahne. Sobald der Elektromagnet in Thätigkeit versetzt wird, was alle Minuten auf die Dauer einer Secunde geschieht, stellt sich der Anker mit den Ecken

wie a gegenüber den Polen. Nun ist aber mit derselben Axe o auch ein Zahnrad verbunden, dessen Zähne in das Getriebe C eingreifen, welches letztere mit dem hammerförmigen Pendel p festverbunden ist. Die Zahnübersetzung ist derart, dass C 6 mal umläuft, wenn A einmal umgeht. Wenn nun durch den Stromschluss der Anker so bewegt wird, dass die Ecke a an die Stelle von b tritt, so beschreibt gleichzeitig das Pendel p einen Kreisbogen in der Richtung des Pfeiles bis e. Hört dann der Stromschluss und damit die Anziehung des Elektromagnets auf, so fällt das Pendel p von e herab in die unterste Lage und es wird dadurch der Anker so viel gedreht, dass d gegenüber von n tritt. Dadurch wird also die Ankerstellung für den nächsten Stromschluss vorbereitet. Das Ankerrad A greift mittelst eines (nicht sichtbaren) Getriebes in das Zahnrad B, dessen Axe den Minutenzeiger trägt. Von den mit + und — bezeichneten Drahtenden ist das eine mit dem Pole der Batterie, das andere mit der Contactvorrichtung der Centraluhr in Verbindung. Ausserdem ist noch eine Nebenleitung mit grossem Widerstande auf der Spule D eingeschaltet, welche dazu dient, den Oeffnungsinductionsstrom unschädlich zu machen. Dieses Arzberger'sche elektrische Zeigerwerk hat sich am Polytechnikum in Prag seit sieben Jahren recht gut bewährt.

III. Die elektrischen Uhrcorrectoren dienen dazu, mittelst eines von einer Centraluhr geschlossenen Stromes in grösseren periodischen Zwischenräumen die Zeiger der nicht elektrisch betriebenen Nebenuhren auf richtige Zeit einzustellen. Hierher gehören Steinheil's Stundensteller 1839, Jones' „sympathische“ Uhren und andere, deren Beschreibung wir hier übergehen.

161 **Richtung der Ströme durch Magnete.** Da der Strom eine richtende Wirkung auf Magnete hervorbringt, so konnte man nicht zweifeln, dass auch umgekehrt die Magnete eine gleiche Wirkung auf bewegliche Ströme ausüben müssen. Um die Richtigkeit dieses Schlusses nachzuweisen, musste man nur dafür sorgen, durchströmte Leiter von hinlänglicher Beweglichkeit herzustellen, was Ampère durch das nach ihm genannte Gestell erreicht hat, welches Fig. 479 in seiner einfachsten Gestalt zeigt.

Zwei verticale auf einem Brett befestigte Säulen von Messing sind oben horizontal umgebogen und tragen die Quecksilbernäpfchen x und y, deren Mittelpunkte genau vertical unter einander stehen müssen. Die beiden Säulen sind nirgends in leitender Berührung. Unten sind sie etwas dicker, so dass man hier die Poldrähte einer Säule von 3 bis 5 Zinkkohlenbechern einschrauben kann; dadurch wird das eine Quecksilbernäpfchen gewissermaassen zum positiven, das andere zum negativen Pole.

In diese Quecksilbernäpfchen werden nun Leitungsdrähte eingehängt, wie sie in Fig. 479 und Fig. 480 dargestellt sind. Da, wo sich die beiden Drahtenden zu berühren scheinen, sind sie durch eine isolirende Substanz getrennt; sie sind oben umgebogen und mit Stahlspitzen versehen, die

in die Näpfchen x und y, Fig. 479, eingetaucht werden. Die obere Spitze geht bis auf den Boden des Näpfchens und ruht hier auf einer kleinen

Fig. 479.

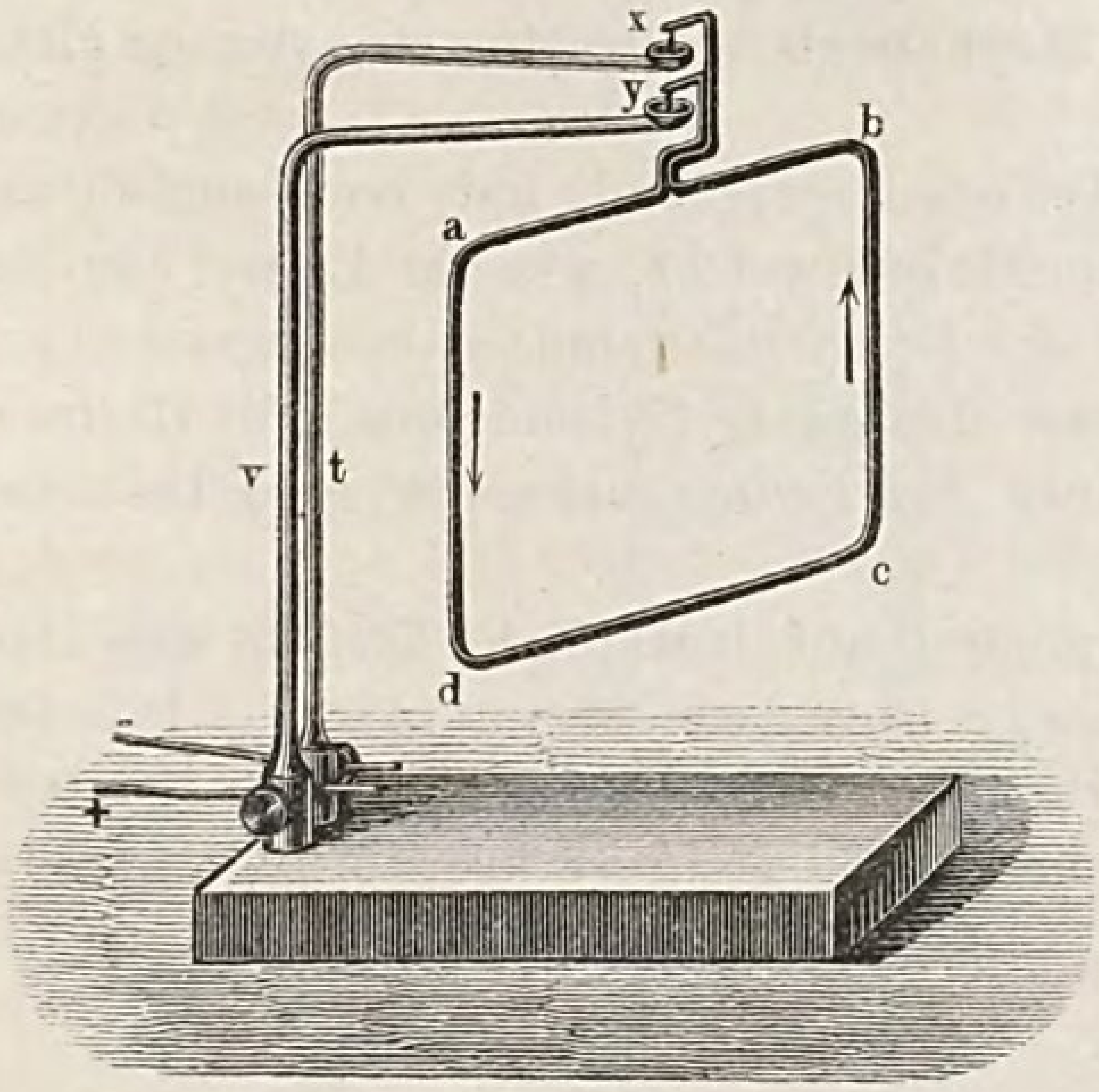


Fig. 480.

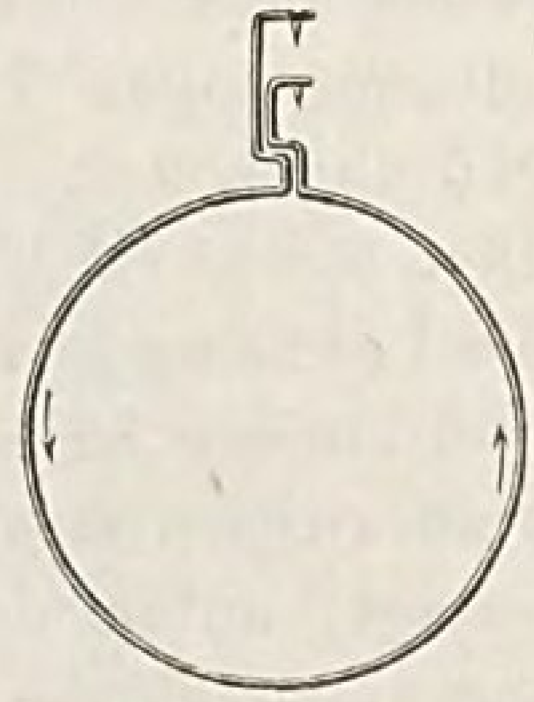
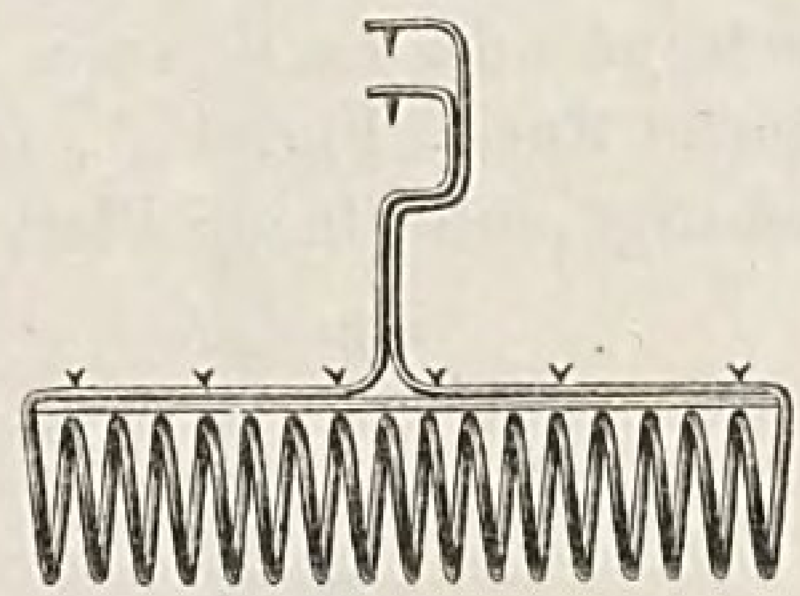


Fig. 481.



Stahlpfanne, die untere Spitze taucht nur in das Quecksilber ein. Durch diese Aufhängung ist der Draht sehr leicht beweglich.

Nähert man dem so aufgehängten durchströmten Leiter einen *Magnetstab*, so wird er (der bewegliche Leiter), kräftig angezogen oder abgestossen, eine entsprechende Drehung um seine verticale Umdrehungsaxe erleiden.

Schon der *Erdmagnetismus* wirkt richtend auf den beweglichen durchströmten Leiter; wenn man ihn sich selbst überlässt, so stellt er sich so, *dass seine Ebene rechtwinklig auf der Ebene des magnetischen Meridians steht*, und zwar stets so, dass der positive Strom auf der Westseite aufsteigt oder, mit anderen Worten, dass der Strom von der Südseite her betrachtet in gleicher Weise kreist *wie der Zeiger einer Uhr*.

Da ein durchströmter kreisförmiger Leitungsdraht, Fig. 480, welcher um seine verticale Axe drehbar ist, sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian einstellt, so muss sich auch ein *Schraubendraht* (*Solenoid*), Fig. 481, an dem *Ampère*'schen Gestell aufgehängt und durchströmt so einstellen, dass die Ebene der einzelnen Windungen gleichfalls rechtwinklig steht auf der Ebene des magnetischen Meridians, *dass also die Axe des Solenoids in den magnetischen Meridian zu liegen kommt*.

Es versteht sich von selbst, dass das Stäbchen, an welchem die einzelnen Windungen des Solenoids, Fig. 481, oben befestigt sind, aus einer isolirenden Substanz, also etwa aus Holz besteht.

Ein solches Solenoid ahmt vollkommen die Declinationsnadel nach, es hat seinen Nord- und seinen Südpol. Nähert man einem der Pole des durchströmten Solenoids den einen Pol eines Magnetstabes, so findet Anziehung oder Abstossung statt. Ein jeder Pol des Solenoids wird vom gleichnamigen Pole des Magnetstabes abgestossen, vom ungleichnamigen angezogen.

Den astatischen Nadeln entsprechend hat man auch astatische Leitungsdrähte construirt, welche, wie der Leiter Fig. 482, aus zwei Theilen bestehen, die der Erdmagnetismus in entgegengesetzter Weise zu richten strebt, so dass das ganze System nun kein Bestreben mehr zeigt, unter dem Einfluss des Erdmagnetismus eine bestimmte Stellung einzunehmen.

Die Einwirkung von Magneten auf bewegliche Ströme lässt sich auch mit de la Rive's schwimmendem Strom zeigen. In einem Stücke Kork, Fig. 483, ist ein Stück Zink Z und ein Stück Kupfer K befestigt, und beide Platten sind durch mehrere kreisförmige Windun-

Fig. 482.

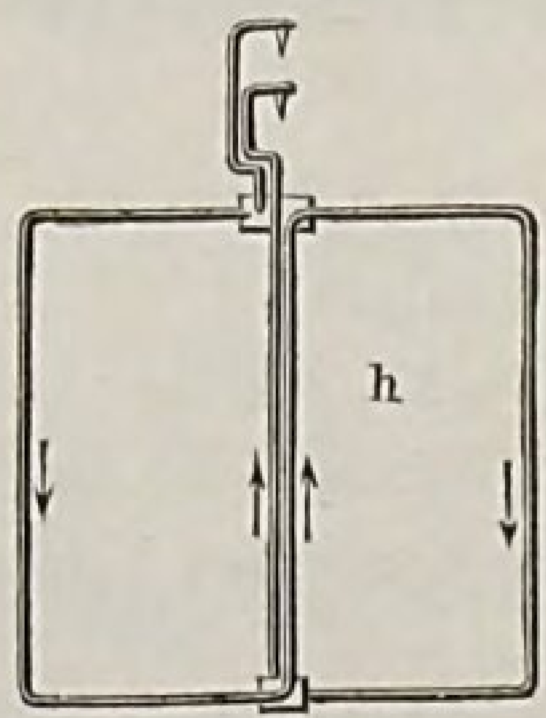
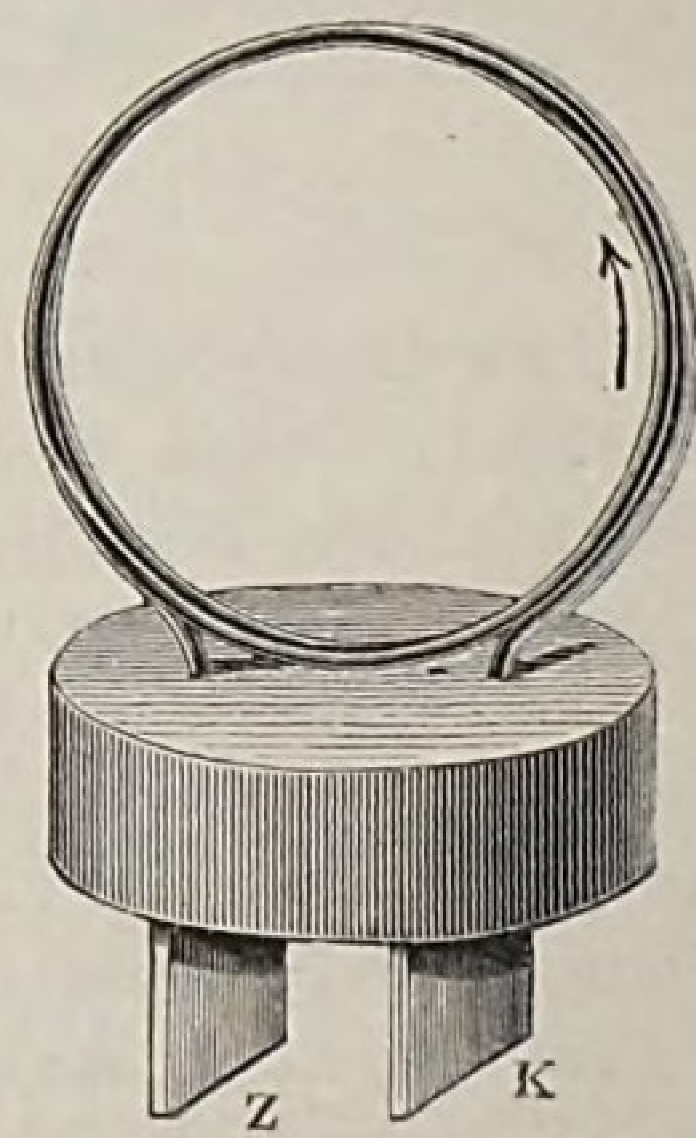


Fig. 483.

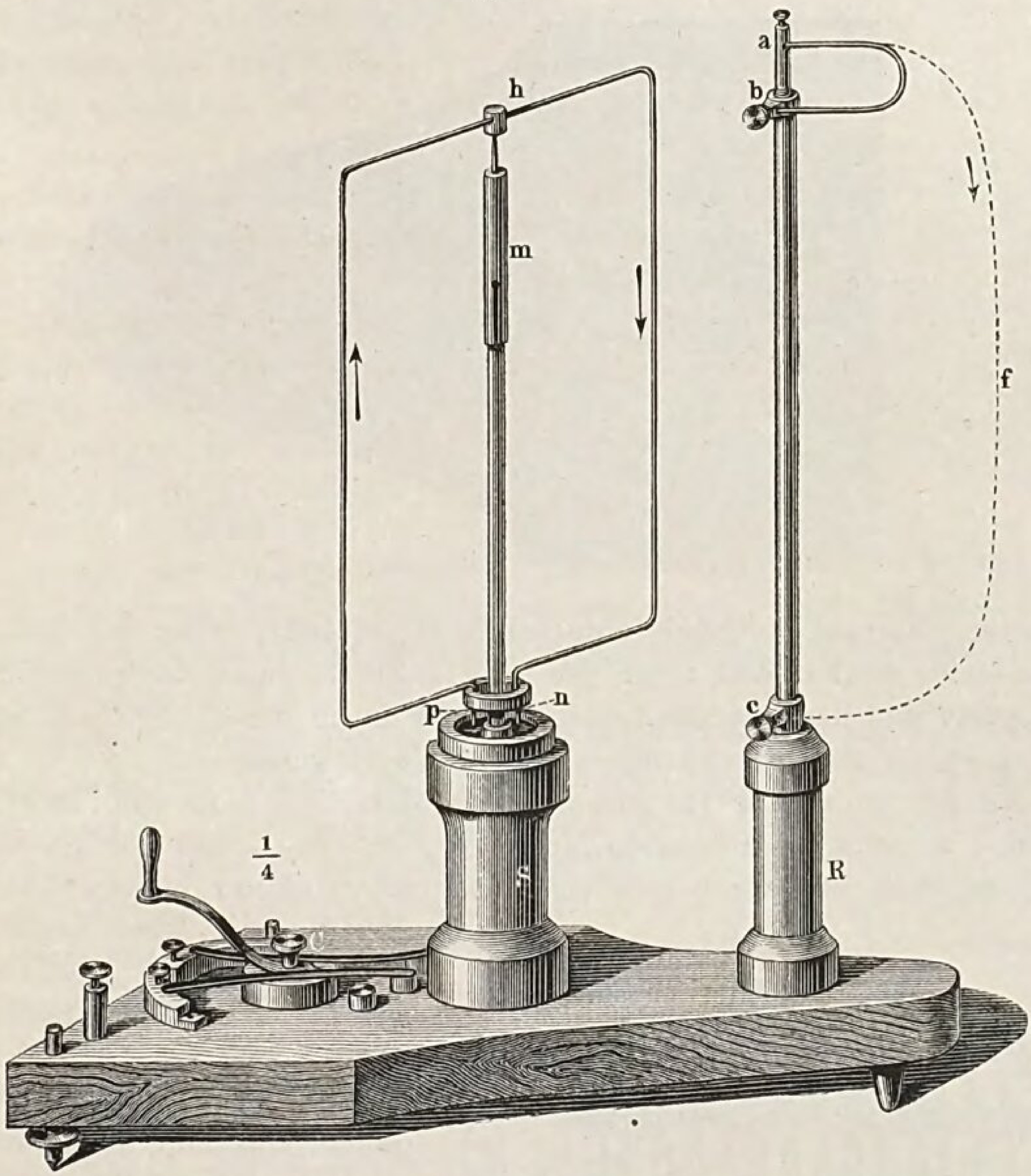


gen von übersponnenem Kupferdraht verbunden. Auf gesäuertes Wasser gesetzt, bildet sich ein Strom, der vom Zink im Wasser zum Kupfer und dann durch den Draht in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung hindurchgeht. Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus solche schwimmenden Ströme richtet, ist freilich äusserst gering, dagegen tritt die Anziehung und Abstossung derselben durch Magnete ganz entschieden auf.

Hat sich der Leiter Fig. 479 oder Fig. 480, oder das Solenoid Fig. 481 bei einer bestimmten Stromrichtung unter dem Einflusse des Erdmagnetismus eingestellt, so wird eine Umkehrung der Stromesrichtung eine Umkehrung der Polarität der durchströmten Leiter zur Folge haben, er wird sich also um seine verticale Drehungsaxe um 180^0 drehen müssen, ehe er in seine neue durch den Erdmagnetismus bestimmte Gleichgewichtslage gelangt.

Das Ampère'sche Gestell, welches wir oben in seiner einfachsten Gestalt kennen lernten, ist in mannigfacher Weise abgeändert worden. Fig. 484 ist eine perspectivische Ansicht des Apparates, wie ihn Stöhrer in Dresden construirt, Fig. 485 (a. f. S.) ist der Grundriss desselben.

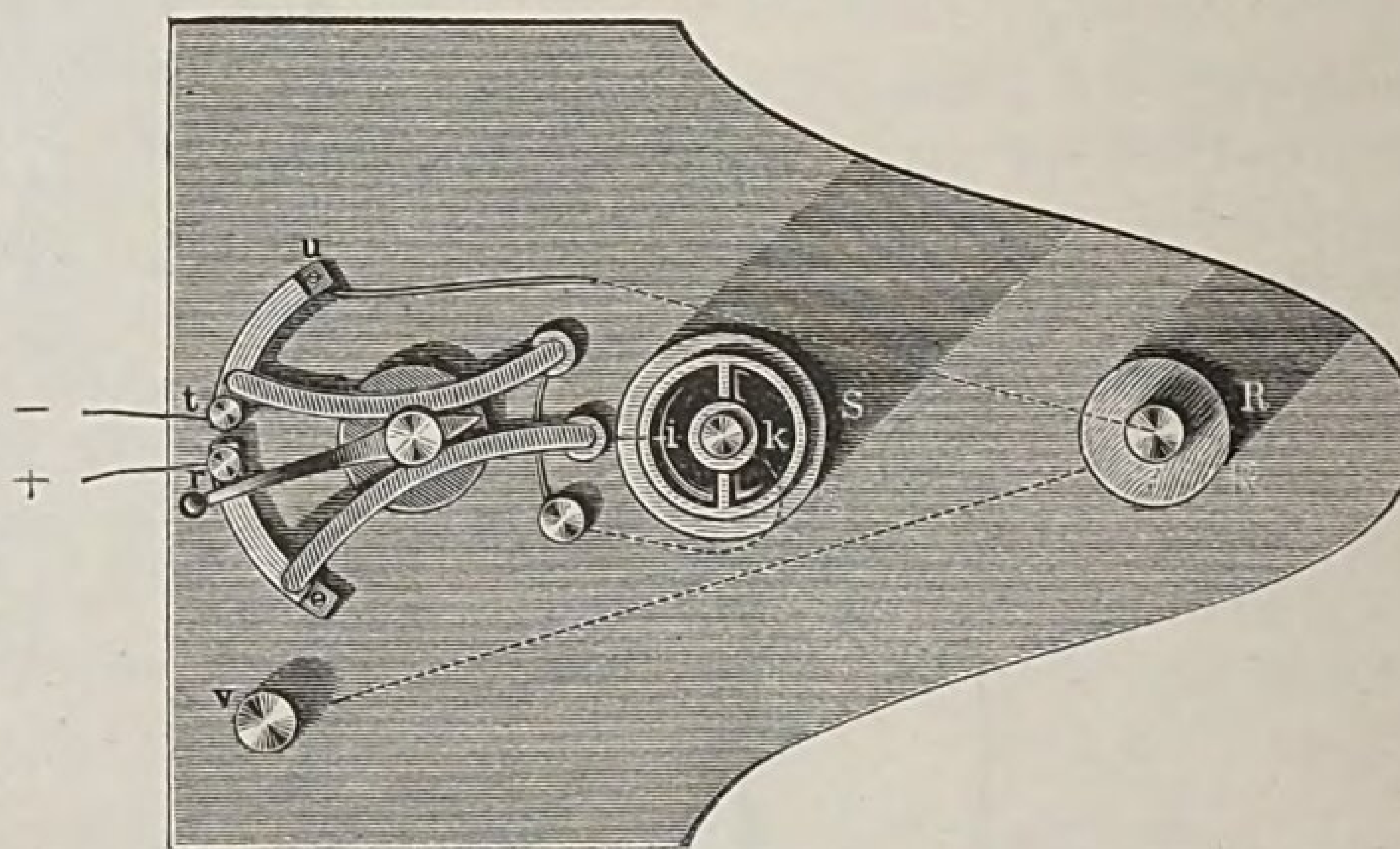
Fig. 484.



Der bewegliche Leiter ist mittelst eines Stahlhütchens *h* auf eine Stahlspitze aufgesetzt, um die er sich frei drehen kann. Unten endet der bewegliche Leiter in zwei zugespitzten Drahtstücken *n* und *p*, deren jedes in eine halbkreisförmige, mit Quecksilber gefüllte Rinne eintaucht. Diese beiden Rinnen sind, wie man Fig. 485 sieht, durch eine diametrale Scheidewand von Holz oder Elfenbein isolirt, und so hoch mit Quecksilber gefüllt, dass sich der Spiegel desselben zu beiden Seiten noch etwas über die Ränder der Scheidewand erhebt. Die Stellung des beweglichen Leiters wird durch Auf- und Abschieben der die Stahlspitze tragenden Hülse *m* so justirt, dass seine beiden nach unten gekehrten Enden sich eben noch frei über die isolirende Scheidewand der Quecksilberrinnen hinwegbewegen können.

Die beiden Quecksilberrinnen sind durch Kupferdrähte, welche im Innern der Holzsäule S aufsteigen, mit dem Commutator C verbunden, welcher wohl ohne nähere Beschreibung durch den Grundriss, Fig. 485, verständlich sein wird. Ist nun bei r der positive, bei t der

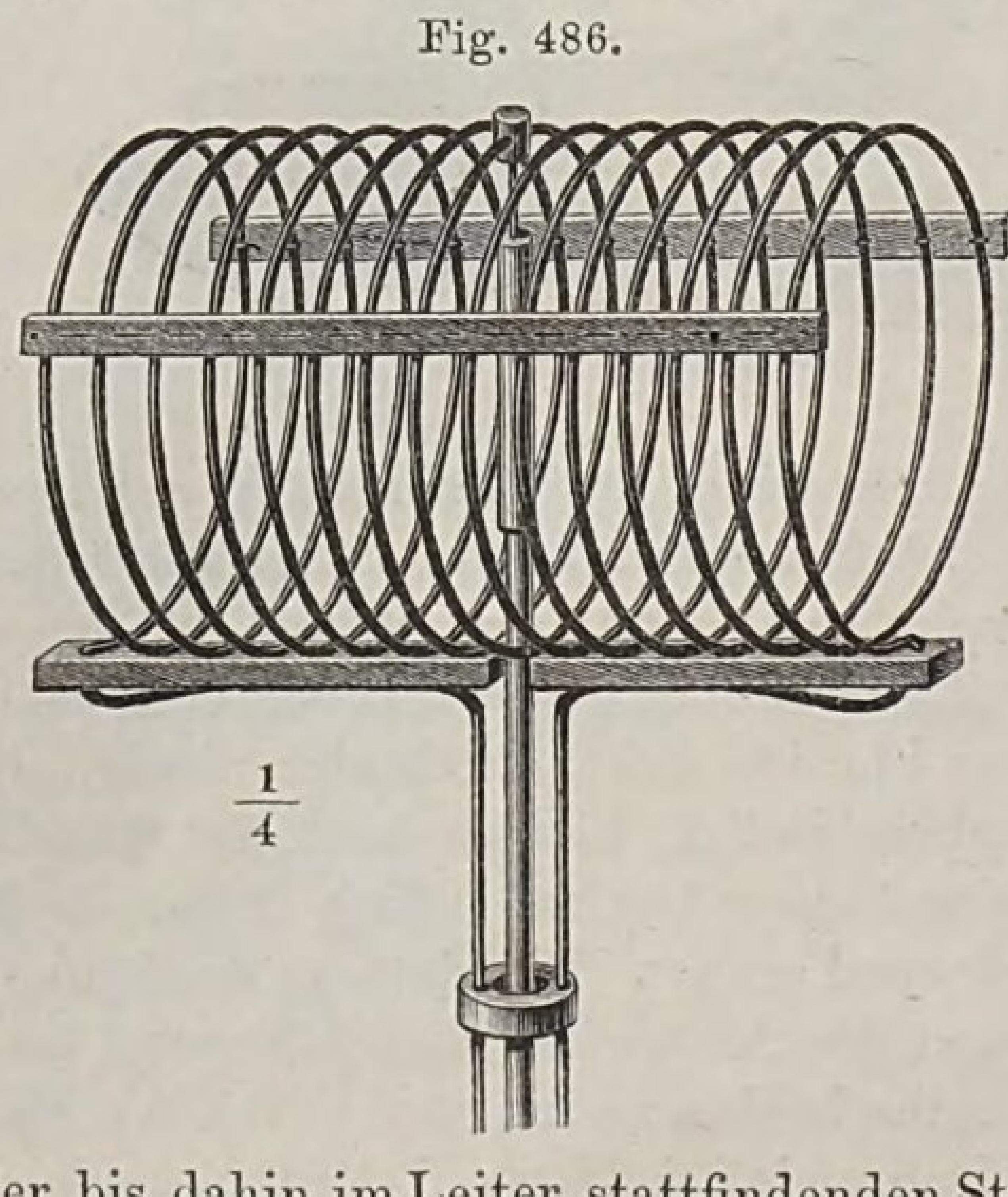
Fig. 485.



negative Poldraht der Säule eingeschraubt, so tritt, wenn der Commutator steht, wie Fig. 485 zeigt, der positive Strom durch die Quecksilberrinne i in den beweglichen Leiter ein und durch die Rinne k aus, ohne in den später zu besprechenden Leiter $a\,b\,c$ zu gelangen.

Ist der ganze Apparat so aufgestellt, dass die Scheidewand zwischen i und k in dem magnetischen Meridian steht und i auf der Westseite liegt, so stellt sich der bewegliche Leiter rechtwinklig zum magnetischen Meridian ein, wenn der Commutator die in Fig. 484 und Fig. 485 gezeichnete Stellung hat.

Fig. 486.



Wird der Apparat bei der gleichen Stellung des Commutators so aufgestellt, dass die Scheidewand zwischen i und k rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht, so wird der bewegliche Leiter unter dem Einfluss des Erdmagnetismus beständig um seine verticale Axe rotiren, denn so oft er, um seine verticale Axe sich drehend, in der Gleichgewichtslage ankommt, welche der bis dahin im Leiter stattfindenden Stromesrichtung entspricht, gehen die Drahtenden p und n über die isolirende Scheidewand hinweg; das

Drahtende, welches bisher in i war, taucht nun in k ein und umgekehrt, es wird also in dem Moment, in welchem der Draht seine Gleichgewichtslage passirt, die Stromesrichtung in demselben umgekehrt und dadurch eine Fortsetzung der Drehung in gleicher Richtung bedingt.

Vertauscht man den beweglichen Leiter, Fig. 484, mit dem Solenoid Fig. 486, so findet die Rotation desselben unter dem Einfluss des Erdmagnetismus statt, wenn die Scheidewand zwischen i und k rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht.

Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander. 162 Nachdem einmal nachgewiesen worden war, dass ein Magnet und ein durchströmter Leitungsdraht ganz ähnlich auf einander wirken, wie zwei Magnete, liess sich erwarten, dass auch zwei durchströmte Leitungsdrähte anziehende oder abstossende Wirkungen auf einander ausüben werden. Dass dies in der That der Fall ist, hat Ampère nicht allein nachgewiesen, sondern er hat auch die Gesetze der gegenseitigen Einwirkung zweier durchströmter Leitungsdrähte (die Elektrodynamik) entwickelt.

Wenn es auch unmöglich ist, in dies Lehrbuch die vollständige Ampère'sche Theorie aufzunehmen, so werden wir doch die Grundsätze derselben besprechen und die wichtigsten Versuche anführen, auf welche sie sich stützt.

Betrachten wir zunächst zwei parallel neben einander herlaufende Ströme, so ergiebt sich, dass sich dieselben einander anziehen, wenn sie gleich gerichtet, dass sie aber einander abstossen, wenn sie entgegengesetzt gerichtet sind, und zwar hängt die Intensität dieser Wirkung ab von der Länge der parallel neben einander herlaufenden Leitungsdrähte, von der Entfernung derselben und von der Stärke der sie durchlaufenden Ströme.

Die eben besprochene gegenseitige Einwirkung paralleler Ströme lässt sich mit Hülfe des Ampère'schen Gestelles in folgender Art nachweisen. Man hänge in die Quecksilbernäpfchen x und y, Fig. 487 (a. f. S.), einen rechtwinkligen Stromleiter $abcd$ und stelle, wenn sich derselbe unter dem Einfluss des Erdmagnetismus eingestellt hat, den rechtwinklig gebogenen Leitungsdraht, Fig. 488 (a. f. S.), so daneben, dass das verticale Drahtstück fg, Fig. 488, sich in der Nähe des verticalen Drahtstückes bc, Fig. 487, aber ausserhalb der Ebene des beweglichen Leiters befindet. Man beobachtet nun eine Anziehung oder eine Abstossung zwischen den benachbarten verticalen Stromarmen, je nachdem der Strom in ihnen gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist. Man stellt den Versuch am besten in der Weise an, dass man den Strom einer Säule von etwa drei Bunsen'schen Bechern durch den beweglichen Stromleiter, den Strom von drei anderen durch den festen Draht, Fig. 488, hindurchgehen lässt. Sind die Ströme in bc, Fig. 487, und in fg, Fig. 488, gleich gerichtet, so dass Anziehung zwischen ihnen stattfindet, so braucht man nur in

dem beweglichen Stromleiter, Fig. 487, oder in dem festen, Fig. 488, mittelst eines Commutators den Strom umzukehren, um die Anziehung in Abstossung zu verwandeln.

Der Versuch gelingt noch besser, wenn man statt des beweglichen Leiters, Fig. 487, den beweglichen astatischen Leiter, Fig. 482, anwendet.

Auch ist es zur Erzielung einer kräftigen Wirkung zweckmässig, statt des einfachen festen Drahtes, Fig. 488, einen Drahtrahmen,

Fig. 487. Fig. 488.

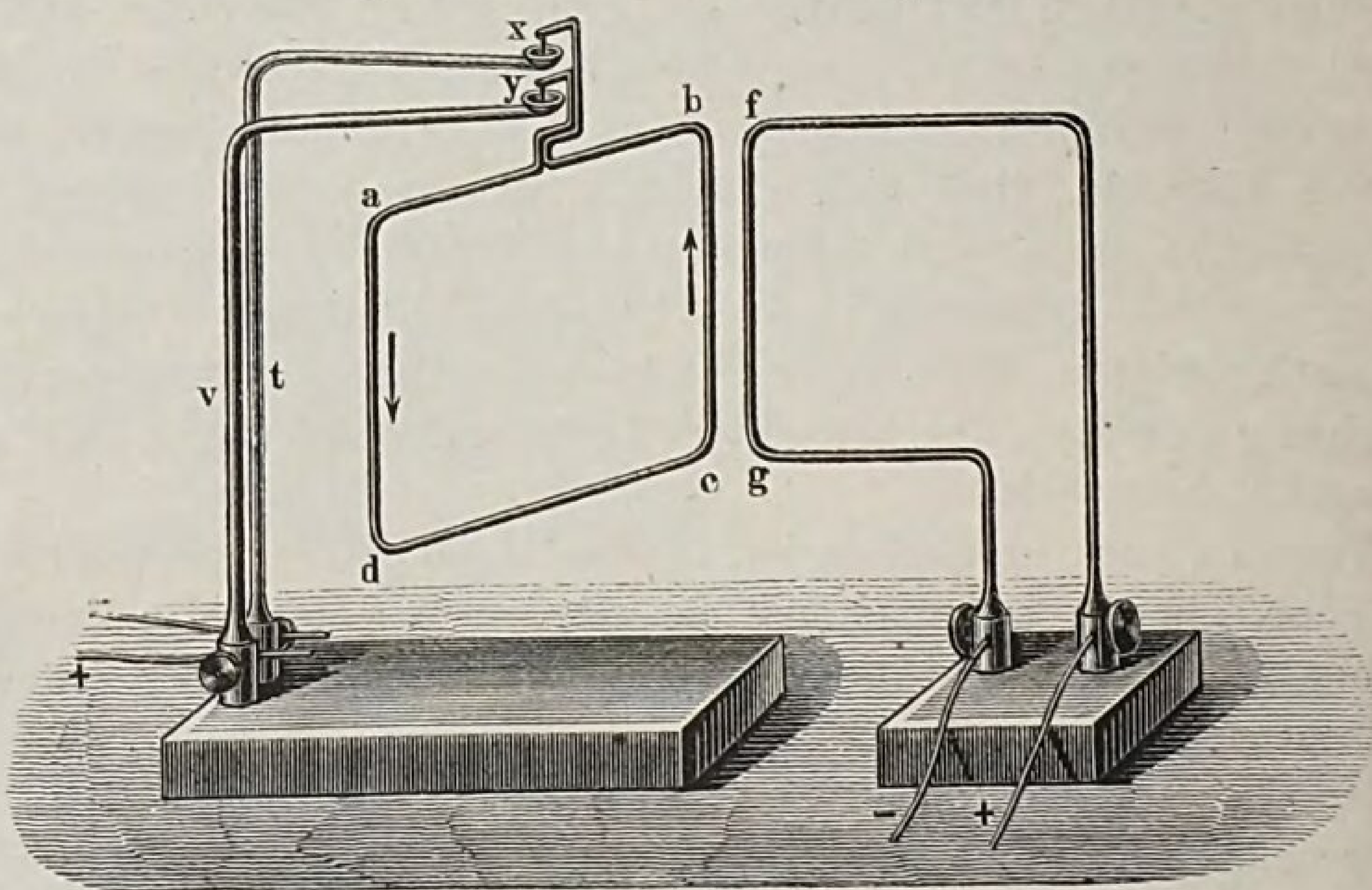
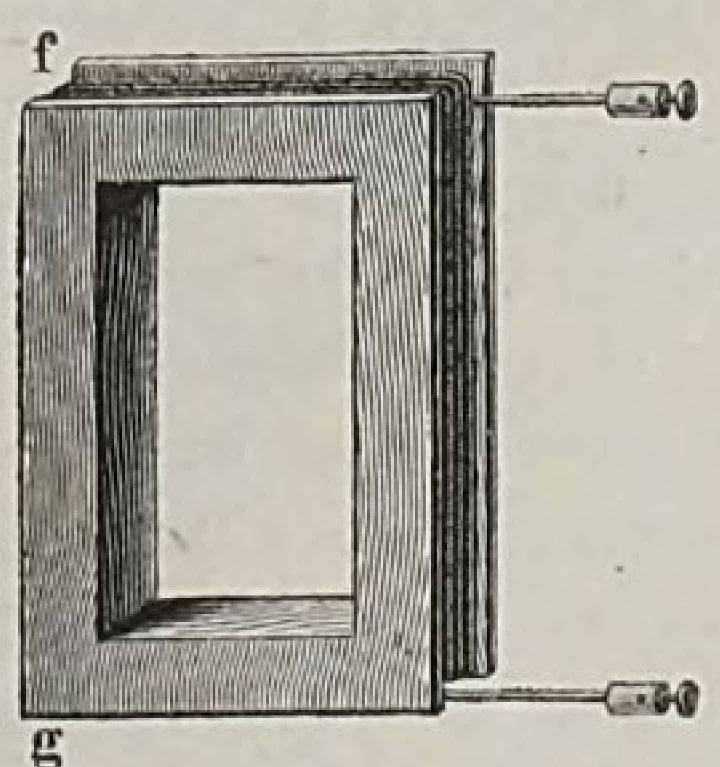


Fig. 489, anzuwenden, welcher aus 20 bis 30 Windungen eines 1 bis 2 mm dicken übersponnenen Drahtes gebildet ist.

Um mit dem von Stöhrer construirten Ampère'schen Gestell die gegenseitige Einwirkung von Strömen auf einander zeigen zu können, ist an demselben eine Vorrichtung angebracht, welche in §. 161 noch nicht besprochen wurde. Rechts von der Holzsäule *S*, welche den beweglichen Stromleiter trägt, ist noch eine zweite *R* angebracht, in deren Axe sich ein Messingstäbchen bis zur Klemmschraube *a* erhebt. Dieses Stäbchen ist von einer Messinghülse umgeben, welche bis zur Höhe *b* aufsteigt, welche aber durch mehrere isolirende Lagen von Papier vor leitender Berührung mit dem centralen Stäbchen geschützt ist.

Fig. 489.

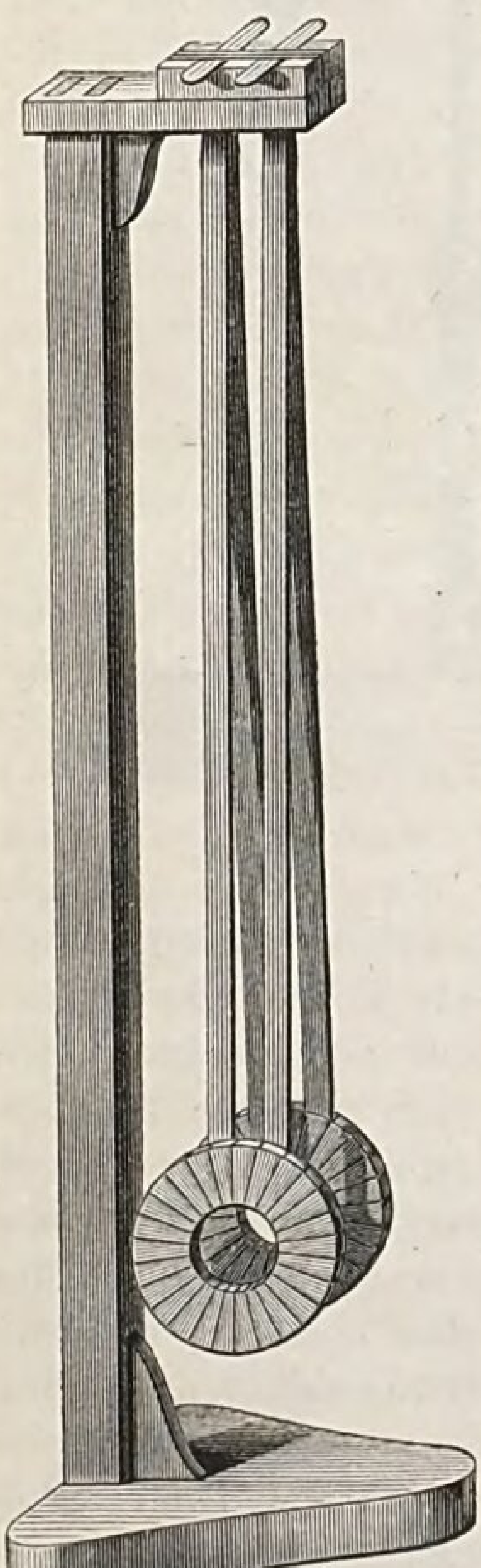


Das centrale Stäbchen ist durch einen theils unter dem Brette herlaufenden Kupferdraht mit dem Messingbogen *tu*, Fig. 485, die Messinghülse ist mit dem Messingsäulchen *v* in leitender Verbindung. Es wird nun der negative Poldraht der Säule, welcher bei der in §. 161 betrach-

teten Anordnung bei t eingeschraubt war, dort weggenommen und in dem Messingsäulchen v eingeschraubt; ferner wird in die Klemmschrauben bei a und c ein Draht afc eingeschraubt, welcher in unserer Figur durch eine punktirte Linie bezeichnet ist. Bei dieser Anordnung nun geht der positive Strom, wie auch der Commutator gestellt sein mag, in dem centralen Stäbchen hinauf und durch den Draht afc herunter. Der in der Säule aufsteigende Strom wirkt nun je nach der Richtung des Stromes im beweglichen Leiter anziehend oder abstossend auf den nächsten verticalen Arm desselben, ohne dass diese Wirkung durch den in grösserer Entfernung über f herabsteigenden Strom merklich gestört würde.

Wenn aber ein kurzer Draht zwischen den Klemmschrauben a und b eingeschraubt ist, wie es Fig. 484 zeigt, so geht der Strom durch die Hülse von b nach c herunter, und nun wird die Wirkung des aufsteigenden Stromes durch den dicht neben ihm absteigenden aufgehoben, der bewegliche Leiter wird jetzt nur noch durch den Einfluss des Erdmagnetismus gerichtet.

Fig. 490.



$\frac{1}{10}$

Die Anziehung paralleler gleich gerichteter Ströme und die Abstossung paralleler entgegengesetzt laufender lässt sich sehr anschaulich mit dem Fig. 490 dargestellten, von Buff angegebenen Apparate zeigen. Zwei Bandspiralen von der bereits auf Seite 480 beschriebenen Construction sind mittelst zweier ungefähr 1 m langer Zuleitungsstreifen von Kupferblech so aufgehängt, dass die Axe der einen in die Verlängerung der Axe der anderen fällt und dass die einander zugekehrten Flächen der beiden Spiralen fast in Berührung sind. Werden nun beide von dem Strome einer aus 4 bis 6 Bunsen'schen Bechern gebildeten Säule durchströmt, so stossen sie sich kräftig ab, wenn die Strömungsrichtung nicht in beiden Spiralen dieselbe ist. Die Zuleitungsstreifen, welche vorher parallel, neben einander hingen, divergiren alsdann so, dass die Spiralen 5 bis 7 cm aus einander stehen, wie es die Figur andeutet.

Bringt man zwischen die Zuleitungsstreifen der beiden Spiralen, gegen das obere Ende hin einen ungefähr 7 cm dicken Holzstab, so dass die Spiralen, so lange sie nicht durchströmt sind, in 7 cm Abstand von ein-

ander hängen, so werden sie, wenn man einen Strom in gleicher Richtung durch sie hindurch leitet, einander so stark anziehen, dass sie vollständig zusammenklappen.

Die Art der Aufhängung kann man aus Fig. 491 ersehen, welche die Aufhängung der Zuleitungsstreifen für die hintere Spirale Fig. 490 darstellt.

Da gleich gerichtete parallele Ströme einander anziehen, so müssen auch die einzelnen Windungen einer durchströmten Drahtspirale eine anziehende Wirkung auf einander ausüben. Es lässt sich dies sehr schön mit Hülfe der Roget'schen Spirale Fig. 492 zeigen. Eine Spirale von

Fig. 491.

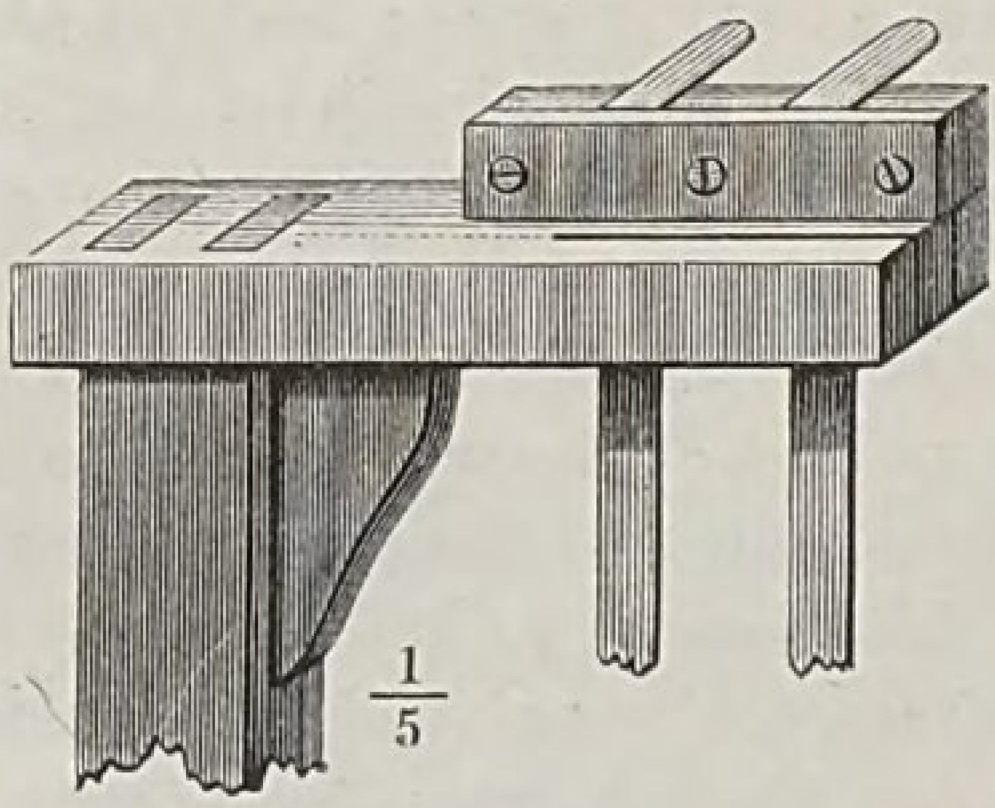
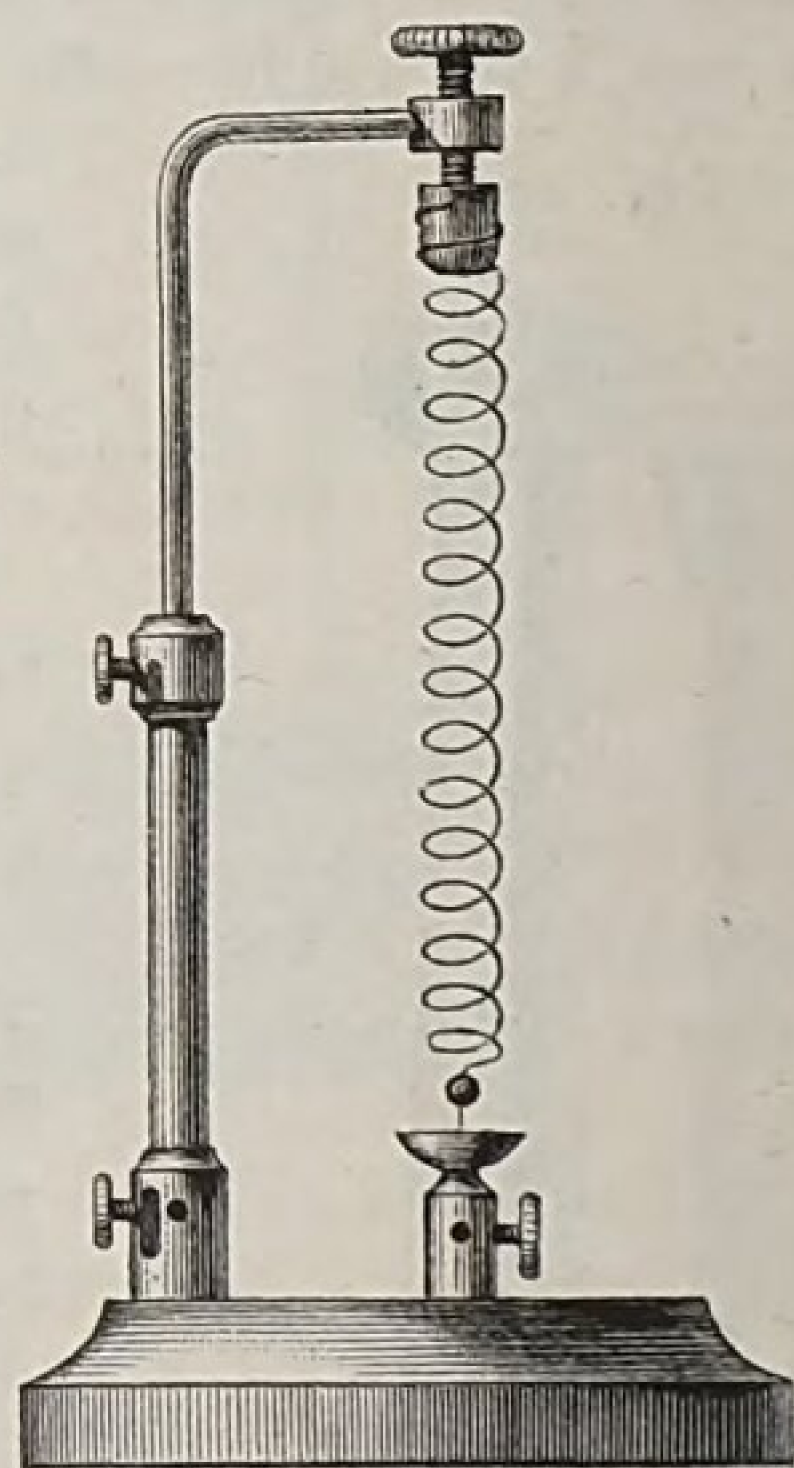


Fig. 492.



Kupferdraht wird an einem passenden Stativ aufgehängt, welches erlaubt, dass man die ganze Spirale nach Belieben etwas heben oder senken kann. Das untere Ende der Spirale, welches so umgebogen ist, dass es ungefähr in der Richtung der Axe der Spirale sich befindet, hängt in ein Quecksilbernäpfchen so herab, dass die Drahtspitze eben das Quecksilber berührt. Setzt man nun das Quecksilbernäpfchen mit dem einen Pol einer Säule in Verbindung, welche etwa aus einem oder drei Bunsen'schen Bechern besteht, während von dem anderen Pol dieser Säule ein Draht zu der Klemmschraube geführt wird, welche das andere Ende der aufgehängten Drahtspirale bildet, so beginnt dieselbe sogleich eine Reihe von Oscillationen, indem sie sich abwechselnd zusammenzieht und dann wieder verlängert. In dem Moment nämlich, in welchem der Strom die Spirale zu durchlaufen beginnt, ziehen sich die einzelnen Windungen an; dadurch wird die Spirale verkürzt, ihr unteres Ende aus dem

Quecksilber gehoben und also der Strom unterbrochen. In Folge ihrer Schwere senken sich nun die Drahtwindungen wieder, bis das untere Ende der Spirale abermals in das Quecksilber eintaucht und nun dasselbe Spiel von Neuem beginnt.

Die Spirale wird dadurch hergestellt, dass man einen ungefähr 16 m langen, $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ mm dicken Kupferdraht auf eine Glasröhre von 3 bis $3\frac{1}{2}$ cm äusserem Durchmesser so aufwindet, dass die Drahtgänge so dicht als möglich neben einander liegen. Wird der Draht nach einiger Zeit von der Glasröhre abgestreift, so dehnt sich die Spirale etwas aus, so dass die einzelnen Windungen ein wenig (in Fig. 492 sind die Windungen zu weit abstehend gezeichnet) von einander abstehen, wie es für obigen Versuch am geeignetsten ist.

Gekreuzte Ströme. Wir nennen gekreuzte Ströme diejeni- 163
gen, die nicht parallel sind, mögen sie nun in einer Ebene liegen und ihre Richtungen sich schneiden, oder mögen sie in verschiedenen Ebenen liegen, so dass sie sich nicht treffen. Im ersten Falle ist der Kreuzungspunkt derjenige, in welchem sie sich schneiden, im zweiten Falle ist es ein Punkt auf der Linie der kürzesten Entfernung beider Ströme. Zwei gekreuzte Ströme streben sich immer in der Weise parallel zu stellen, dass sie in gleicher Richtung strömen, oder mit anderen Worten: es findet Anziehung zwischen den Theilen des Stromes statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und dann wieder zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen. Abstossung aber findet statt zwischen einem Strome, welcher sich nach dem Kreuzungspunkte hin bewegt, und einem anderen, welcher von ihm weggeht.

Sind z. B. ab und cd, Fig. 494 (a. f. S.), zwei Ströme, deren Kreuzungspunkt r ist, so findet eine Anziehung zwischen den Theilen ar und cr statt, in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkt hingeht, und zwischen den Theilen rb und rd, in welchen er vom Kreuzungspunkt abgeht. Abstossung findet zwischen ar und rd, ferner zwischen cr und rb statt.

Es lässt sich dies experimentell darthun, wenn man an das Ampère'sche Gestell, Fig. 479, S. 552, eine astatische Stromvorrichtung anhängt, bei welcher, wie man in Fig. 495 (a. f. S.) sieht, die beiden entgegengesetzt wirkenden geschlossenen Stromtheile nicht neben einander liegen, wie in Fig. 482, sondern unter einander. Hält man nun unter das horizontale Drahtstück ab des astatischen beweglichen Leiters einen horizontalen Leitungsdraht $qnop$, so dass on einen beliebigen Winkel mit ab macht, so wird sich der bewegliche Leiter in einer dem eben ausgesprochenen Satze entsprechenden Richtung drehen.

Es versteht sich von selbst, dass man auch hier den Drahtrahmen Fig. 489, statt des einfachen Leiters $opqn$ anwenden kann.

Um diesen Versuch mit dem Stöhrer'schen Apparate anzustellen, wird der bewegliche Leiter, Fig. 484, mit dem astatischen Leiter,

Fig. 493.

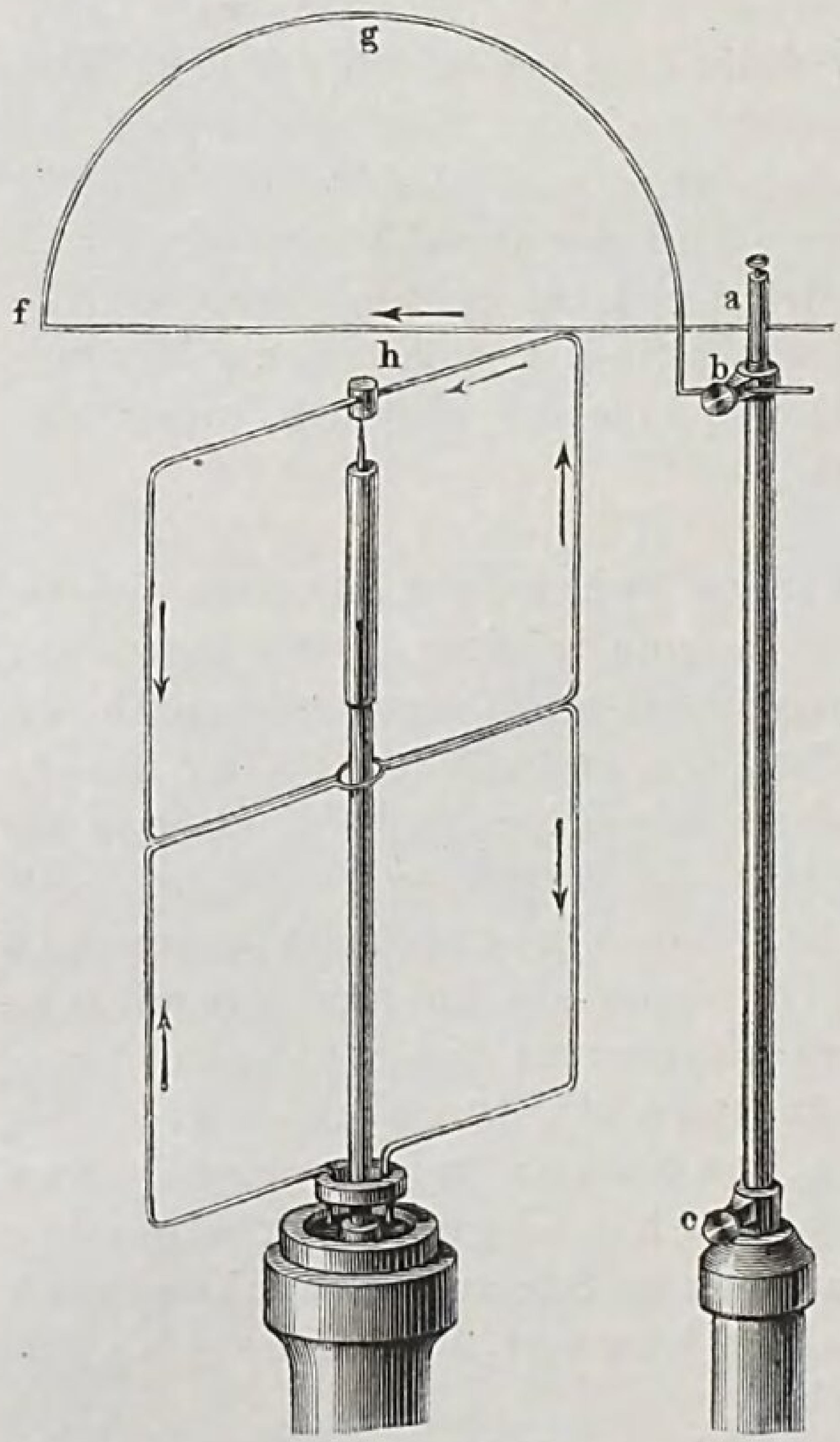


Fig. 494.

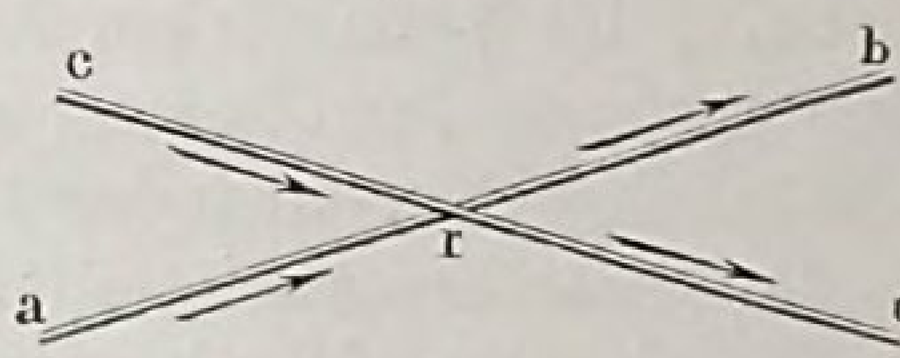


Fig. 495.

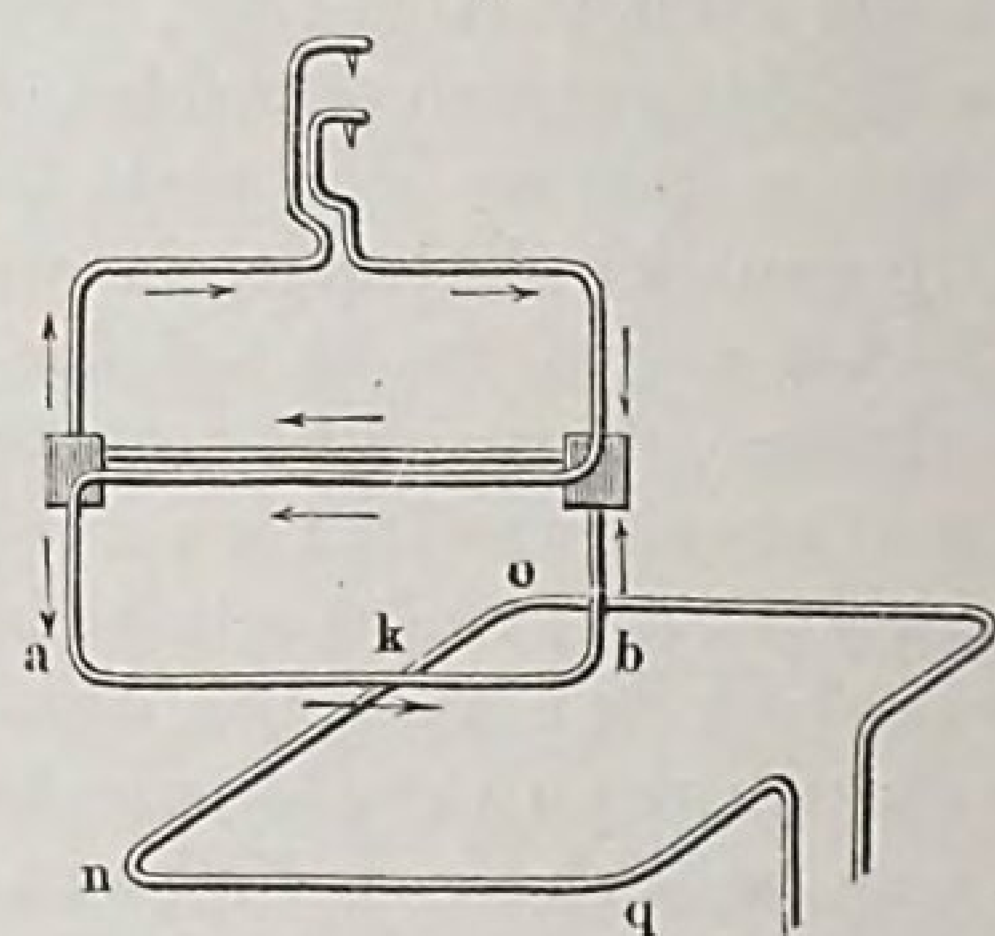


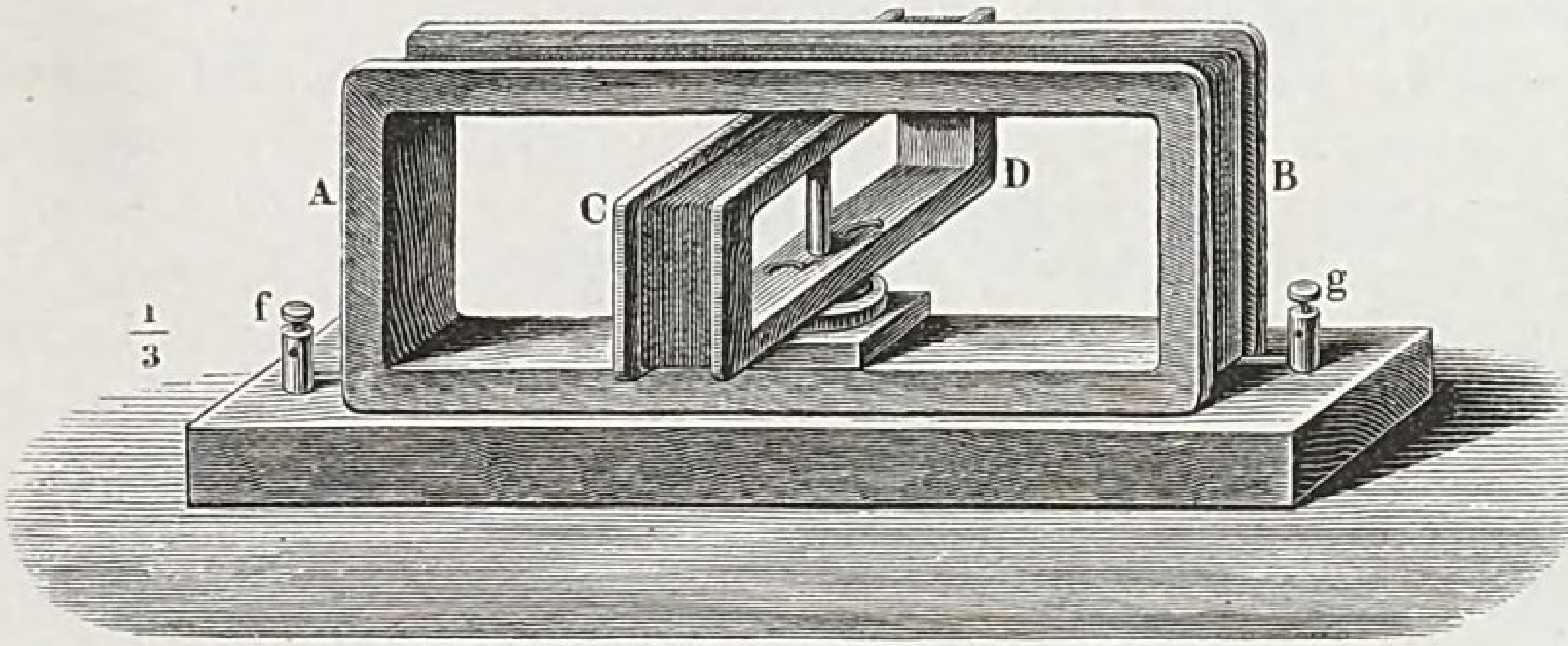
Fig. 493, vertauscht, und die Klemmschrauben a und b durch einen Leitungsdraht $afgb$ verbunden, der von a aus in horizontaler Richtung über h hinweg nach f und dann oben im Bogen über g nach b läuft.

Die Wirkung, welche gekreuzte Ströme auf einander ausüben, lässt sich auch mit einem von Garthe angegebenen, in etwas veränderter Form in Fig. 496 dargestellten Apparate zeigen. Innerhalb eines festen hölzernen Rahmens AB, auf welchen mehrere Lagen eines etwas dickeren (1 bis 5 mm) übersponnenen Kupferdrahtes aufgewunden sind, ist ein beweglicher Drahtrahmen CD angebracht, welcher auf einer Stahlspitze spielt, etwa so wie es Fig. 497 darstellt. Dieses bewegliche Rähmchen muss möglichst leicht sein. Es ist nur mit einer Lage von Drahtwindungen eines übersponnenen dünneren (gegen $\frac{1}{2}$ mm dicken) Kupferdrahtes umwickelt, dessen freie Enden in zwei von einander isolirte Quecksilbernäpfchen eintauchen, wie Fig. 497 erläutert. Den Drahtwindungen des Rahmens AB wird der Strom einer entsprechenden

Batterie (für jeden Rahmen etwa zwei Bunsen'sche Becher) durch die Schraubklemmen f und g, den beiden Quecksilbernäpfchen wird er durch die Drähte h und k zugeführt.

Aus dem eben erläuterten Satze geht hervor, dass ein Strom, welcher ein im Winkel gebogenes Drahtstück $a\,b\,c$, Fig. 498, durchströmt,

Fig. 496.



ein Bestreben hat, den Draht zurückzubiegen, weil sich die Theile $a\,b$ und $b\,c$ des Stromes abstossen.

Diese Abstossung strebt nicht bloss, $b\,c$ in die Verlängerung von ab zu bringen, sondern sie wirkt auch noch, wenn diese Bedingung

Fig. 497.

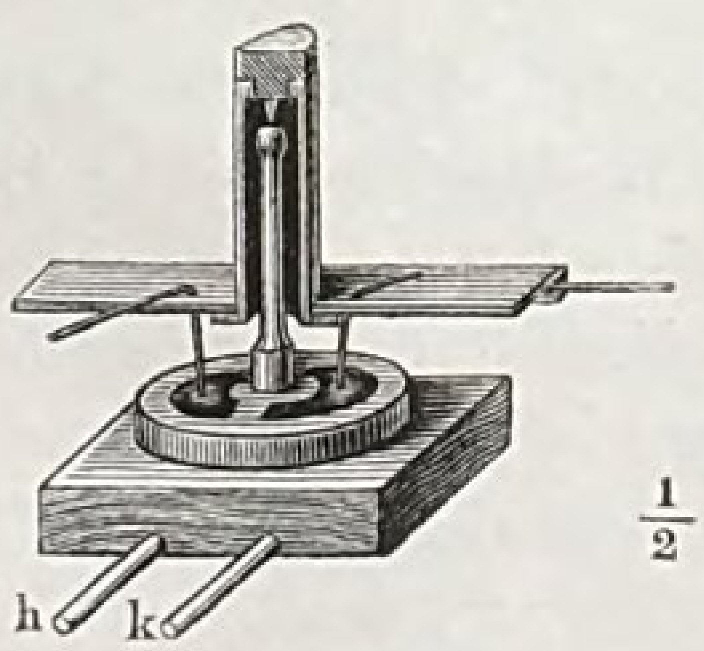
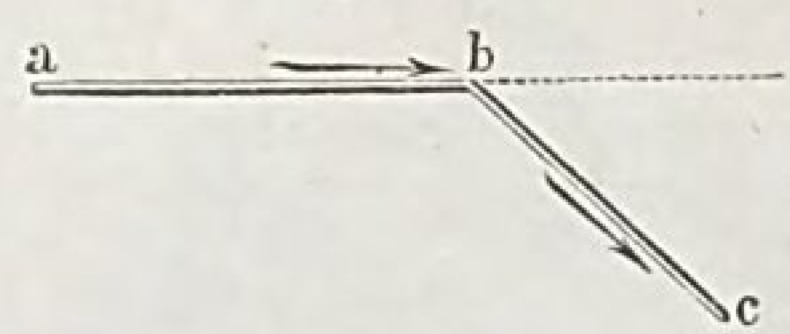
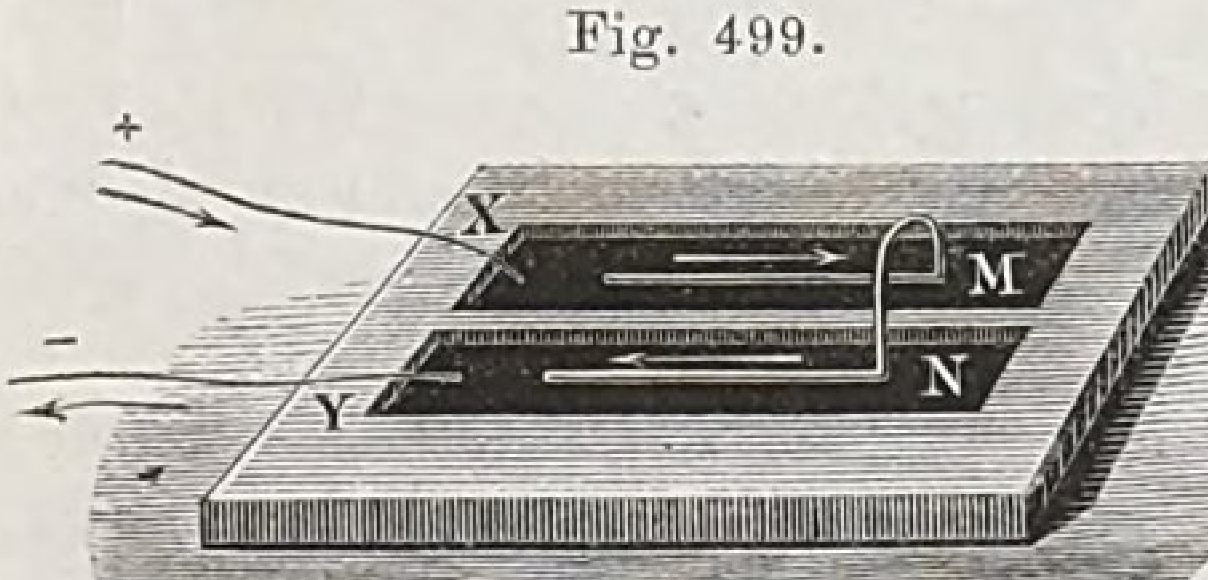


Fig. 498.



erfüllt ist, d. h. die verschiedenen zusammenhängenden Theile eines und desselben geradlinigen Stromes stossen sich ab. Zur experimentellen Prüfung dieser Folgerung construirte de la Rive einen Apparat, welcher im Wesentlichen durch Fig. 499 dargestellt wird. Ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss ist durch eine nichtleitende Scheidewand in zwei Abtheilungen getheilt. Ein dünner Kupferdraht ist so gebogen, dass er von einer Abtheilung in die andere führt, und dass sich in jeder Gefässabtheilung noch ein horizontaler Arm befindet, welcher der Scheidewand parallel

Fig. 499.



ist; diese horizontalen Arme sind bis auf das Ende, welches, etwas abwärts gebogen in das Quecksilber eintaucht, mit Siegellack überzogen. Bringt man nun die beiden Poldrähte einer galvanischen Kette in die Verlängerung der horizontalen Arme dieses Drahtes in das Quecksilber, so muss der ganze Draht von diesen Poldrähten zurückweichen.

Das Experiment misslingt aber leicht, wenn das Quecksilber im Geringsten verunreinigt oder oxydirt ist.

Faraday suchte die fragliche Abstossung durch folgenden Versuch nachzuweisen: Von einem kupfernen Bügel *ab*, Fig. 500, hingen zwei dünnere amalgamirte Kupferdrähte in die von einander isolirten Quecksilbergefässe *c* und *d* herab, welche mittelst der dicken Kupferdrähte *f* und *g* mit den Polen der Säule in Verbindung gebracht werden konnten. Der Bügel *ab* war an dem einen Arm einer empfindlichen Wage aufgehängt, die genau äquilibrirt worden war. Beim Schliessen der Kette stiegen die in die Quecksilbernäpfchen herabhängenden Drähte um einige Centimeter in die Höhe, um wieder herabzusinken, sobald der Strom wieder unterbrochen wurde (Gilbert's Annal. LXXII).

Mit Anwendung von zwei Rhumkorff'schen Elementen, deren Strom die dünnen Drähte ins Glühen brachte, konnte ein Heben und Senken von ungefähr 15 mm beobachtet werden, als die in das Quecksilber herabhängenden Drähte 0,2 mm dick waren.

Fig. 500.

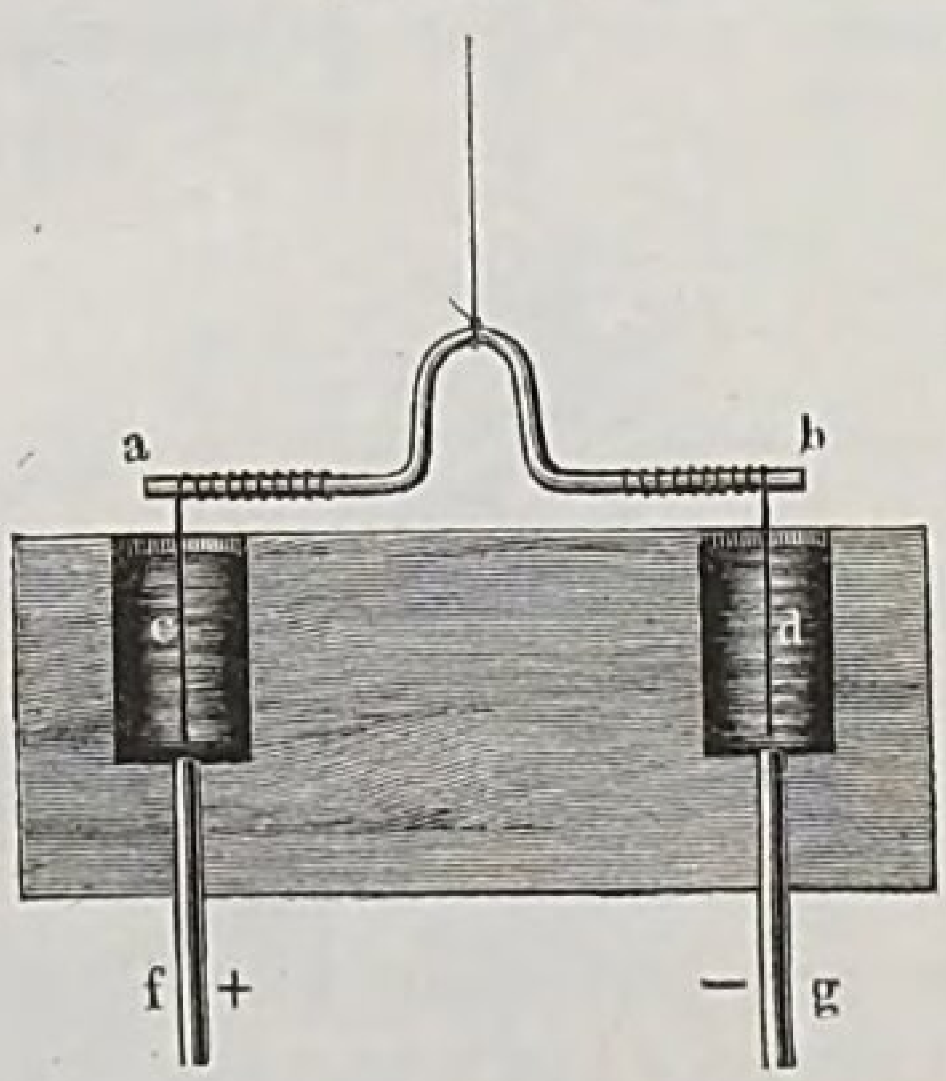


Fig. 501.



Gegen diese Form des Versuches lässt sich übrigens die Einwendung machen, dass die Abstossung von den seitlich aus dem Quecksilber in den Draht eintretenden Stromtheilen herrühre.

Wenn nun aber auch der experimentelle Beweis dieses letzteren Satzes noch zweifelhaft sein sollte, so ist doch die Wahrheit, dass zwei gleichgerichtete Stromtheilchen *A* und *B*, Fig. 501, welche mit der Richtung ihrer Verbindungslinie zusammenfallen, eine abstossende Wirkung auf einander ausüben, nicht in Zweifel zu ziehen, indem sie sich als nothwendige Folge der übrigen Gesetze ergiebt, nach welchen zwei Ströme auf einander wirken.

164 **Elektrodynamisches Gesetz.** Wir haben die gegenseitige Wirkung zweier Ströme nur in einigen speciellen Fällen kennen gelernt. Ampère hat aber ein Gesetz aufgestellt, nach welchem sich für alle gegenseitigen Lagen die gegenseitige Einwirkung zweier Stromtheilchen berechnen lässt. Dieses Gesetz, nach welchem die Theilchen *ab* und

cd, Fig. 502, zweier Stromleiter auf einander wirken, ist nach Ampère durch die Gleichung

$$R = \frac{i\,i'}{r^2}\,(cos\,\varepsilon - \tfrac{3}{2}\,cos\,\Theta\;cos\,\Theta')\;s\,s'$$

ausgedrückt, d. h. diese Gleichung drückt die Grösse der Kraft R aus, mit welcher die beiden Stromelemente (die jedoch nicht in einer Ebene

Fig. 502.

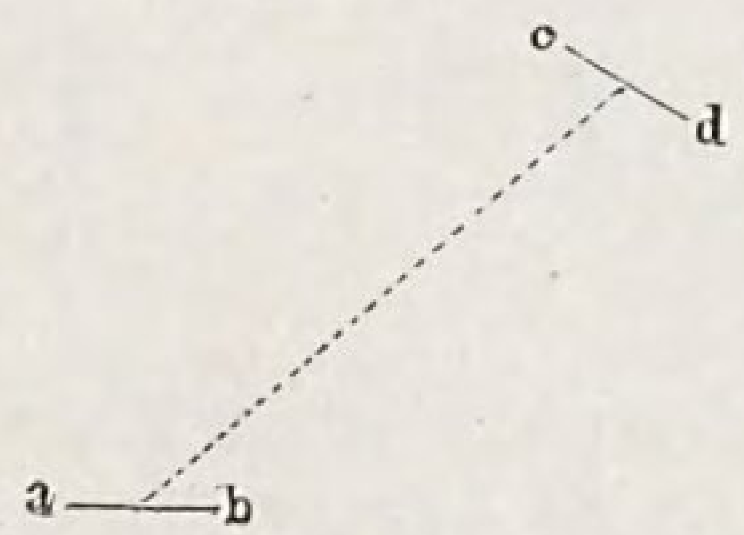
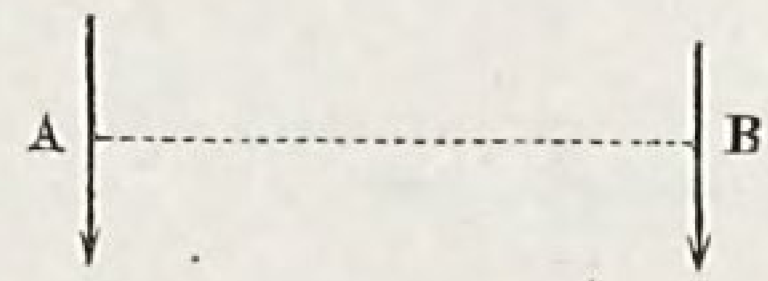


Fig. 503.



zu liegen brauchen) auf einander in der Richtung derjenigen Linie wirken, welche ihre Mittelpunkte verbindet, vorausgesetzt, dass r die Entfernung dieser Mittelpunkte, i die Stromstärke in dem einen, i' die im anderen Stromelemente, s aber die Länge des einen, s' die des anderen Stromelementes bezeichnet. Es ist ferner ε der Winkel, welchen cd mit ab macht; Θ ist der Winkel, welchen das eine, Θ' der Winkel, welchen das andere Stromelement mit ihrer Verbindungslinie macht. Für zwei parallele Stromtheilchen A und B, Fig. 503, welche bei gleicher Richtung rechtwinklig auf ihrer Verbindungslinie stehen, ist $\varepsilon = 0$, Θ und $\Theta' = 90^0$, es wird also: $R = \frac{i\,i'}{r^2} \cdot s\,s'$.

Die Gleichung zeigt also in diesem Falle eine Anziehung an, wie sie auch der Versuch nachgewiesen hat. Da $cos\,180^0 = -1$, so wird der Werth von R negativ, wenn die beiden parallelen Ströme entgegengesetzte Richtung haben, also wenn $\varepsilon = 180^0$ ist. Für den Fig. 501 dargestellten Fall ist $\varepsilon = 0$, $\Theta = \Theta' = 0$, der Werth von R reducirt sich also auf

$$R = -\tfrac{1}{2}\,\frac{i\,i'}{r^2}\,s\,s'.$$

Die Ampère'sche Gleichung zeigt also für diesen Fall eine Abstossung an; kurz, wir sehen, dass das Ampère'sche Gesetz wirklich alle speciellen Fälle der gegenseitigen Einwirkung zweier Stromtheilchen umfasst, die wir oben kennen gelernt haben.

Man kann sich die Wirkung, welche irgend zwei Stromelemente nach dem Ampère'schen Gesetz auf einander ausüben, dadurch versinnlichen, dass man sich jedes derselben durch ein kleines Magnetstäbchen ersetzt denkt, welches rechtwinklig auf der Stromrichtung steht und welches seinen Nordpol links, seinen Südpol rechts von derselben liegen hat. Diese beiden Magnetstäbchen, die man sich ausserdem in der Ebene liegend denken muss, welche man durch die Verbindungslinie der beiden Stromelemente und die Richtung der einen gelegt denken

kann, werden dieselbe anziehende oder abstossende Wirkung auf einander ausüben, wie die Stromelemente, statt deren sie gesetzt wurden. Auf diese Weise übersieht man z. B. leicht, dass in dem Falle Fig. 504 Anziehung der Stromelemente stattfinden muss, Abstossung aber für die in Fig. 505 und 506 dargestellten Fälle.

Fig. 504.

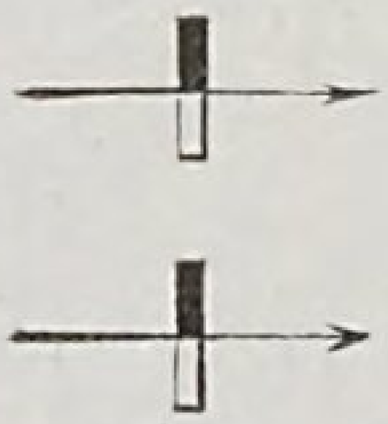


Fig. 505.

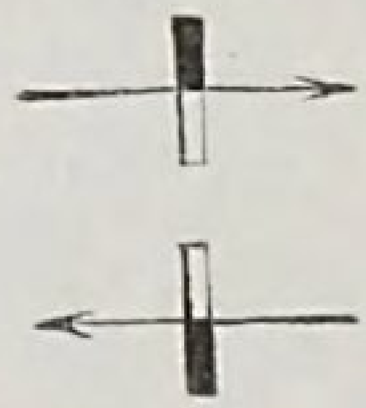


Fig. 506.



Die experimentelle Bestätigung der Ampère'schen Theorie ist allerdings etwas mangelhaft; vorzugsweise ist ins Auge zu fassen, dass sich jenes Gesetz auf die Wirkung zweier Stromelemente bezieht, wir aber unsere Versuche nur mit geschlossenen Strömen anstellen können, so dass wir die Wirkung zweier Stromtheile auf einander nie ganz rein, wenn auch in günstigen Fällen entschieden überwiegend, darzustellen im Stande sind. Ampère selbst hat seine Theorie aus verhältnissmässig mangelhaften Versuchen abgeleitet; alle seine Versuche sind qualitativer, nicht quantitativer Natur. Für eigentliche Messungen waren seine Apparate freilich nicht brauchbar.

Weber hat nun diese Lücke ausgefüllt. Zunächst hat er nicht die Wirkung einzelner Stromelemente auf einander untersucht, sondern er hat berechnet, welches nach der Ampère'schen Theorie die Gesammtwirkung zweier durchströmten Drahtrollen auf einander sein müsse, und hat dann dieses Resultat der Theorie durch messende Versuche geprüft.

A. v. Ettingshausen hat neustens (Wien. Akad. Ber., Bd. 77, 1878) einen Apparat beschrieben, welcher die Ampère'schen Fundamentalversuche mit grösserer Sicherheit anzustellen gestattet.

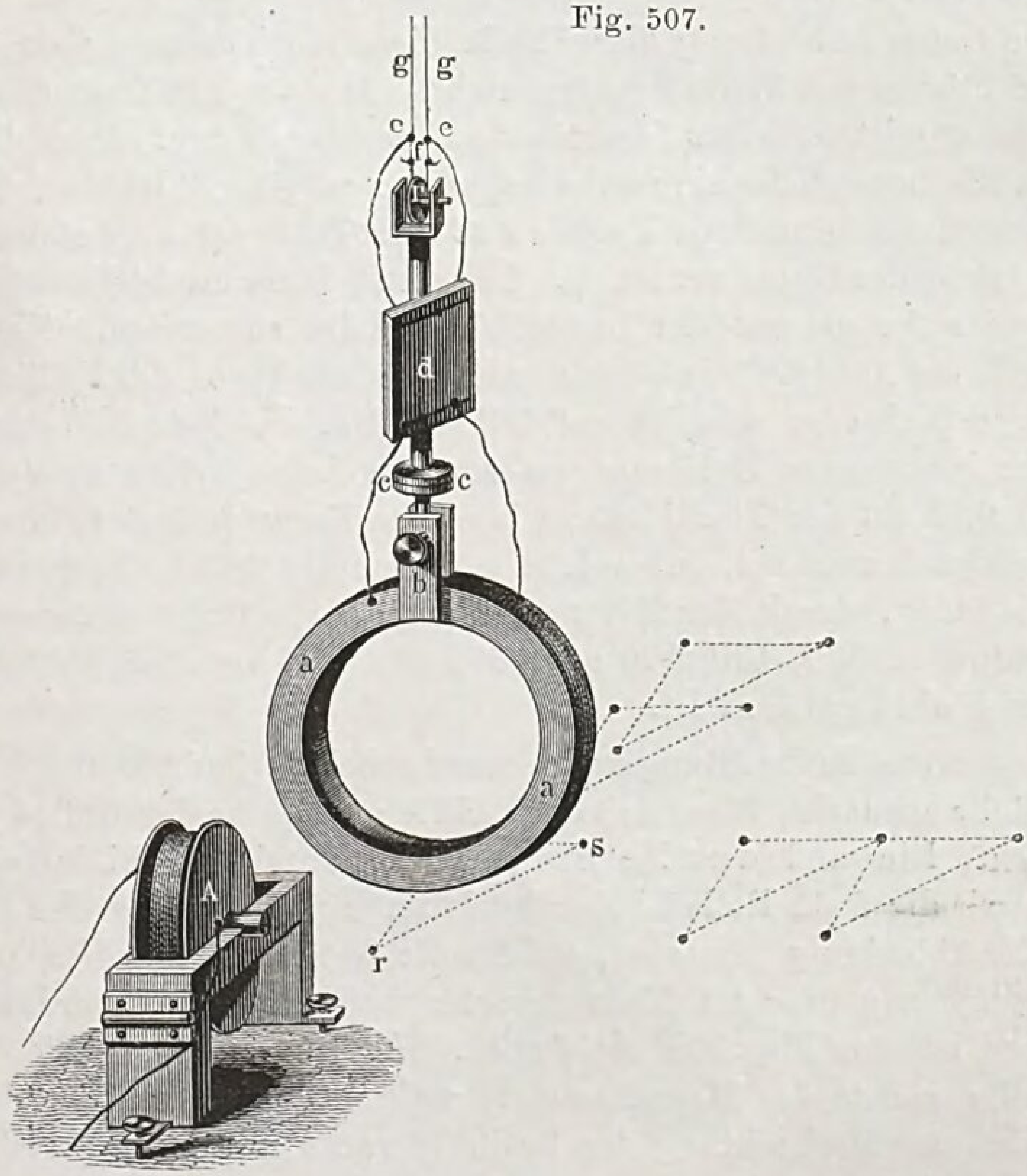
165 **Weber's elektrodynamische Versuche; Elektrodynamometer.** Bei der Ampère'schen Aufhängung ist die Reibung, welche der bewegliche Stromleiter bei seiner Drehung zu überwinden hat, sehr bedeutend, ein Umstand, welcher die messende Bestimmung der hier wirkenden Kräfte unmöglich macht. Weber hat diese Schwierigkeit dadurch umgangen, dass er eine Drahtrolle bifilar aufhing und die beiden Aufhängungsdrähte als Zuleitung für den galvanischen Strom benutzte.

Eine der einfacheren Formen einer solchen Bifilarrolle sieht man in Fig. 507 abgebildet. Die Bifilarrolle a besteht aus einem dünnen Messingringe von 100 mm Durchmesser und 30 mm Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123 mm äusserem und 100 mm innerem Durchmesser verbindet, und in 30 mm Abstand von einander hält. Auf jenem Messingring zwischen den beiden Scheiben ist ein Kupferdraht

von $\frac{1}{3}$ mm Durchmesser, der mit Seide übersponnen ist, ungefähr 3000 mal herumgewunden, so dass er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahtes wurden die beiden Messingscheiben durch eine messingene Klemme *b* verbunden, welche in ihrer Mitte den Torsionskreis *c* trägt. Die obere Scheibe des Torsionskreises trägt einen hölzernen Zapfen, an dessen oberem Ende eine Gabel mit einer sehr beweglichen Rolle von 20 mm Durchmesser befestigt ist. Unter dieser Rolle ist ein seidener Faden weggeführt, welcher zu beiden Seiten der Rolle senkrecht nach oben geht und an den beiden Suspensionsdrähten *gg* angeknüpft ist. Mit den beiden Enden der Suspensionsdrähte sind nun noch die beiden Drahtenden der Rolle in Verbindung gebracht, so dass der galvanische Strom, in einem Aufhängedraht heruntersteigend, in die Drahtrolle übergeht und, nachdem er ihre Windungen durchlaufen hat, im anderen Suspensionsdrahte aufsteigend zurückkehrt. Die beiden Suspensionsdrähte sind an zwei an der Decke befindlichen isolirten Haken befestigt, durch welche die Zuleitung des Stromes stattfindet. Die Aufhängedrähte sind von Kupfer und bei 1 m Länge $\frac{1}{6}$ mm dick.

Bei den Weber'schen Versuchen wurde die Axe der Bifilarrolle in den magnetischen Meridian gebracht, so also, dass ihre Ebene recht-

Fig. 507.



winklig auf demselben stand. An dem Holzzapfen ist ein Spiegel *d* befestigt, so dass man die Ablenkung der Rolle aus ihrer Gleichgewichtslage mit einem Fernrohre auf die bekannte Weise ablesen kann.

Der Benennung eines aufgehängten Magnetstabes (Magnetometer) entsprechend, nennt Weber eine durch ihre Aufhängung leicht bewegliche, den Strom leitende Drahtrolle ein Dynamometer, und zwar ist das eben beschriebene ein Bifilar-Dynamometer.

Wenn ein galvanischer Strom das Bifilar-Dynamometer durchläuft, so wird es aus seiner oben bezeichneten Gleichgewichtslage abgelenkt werden, sobald man ihm einen Magnetstab oder auch eine zweite galvanisch durchströmte Drahtrolle nähert.

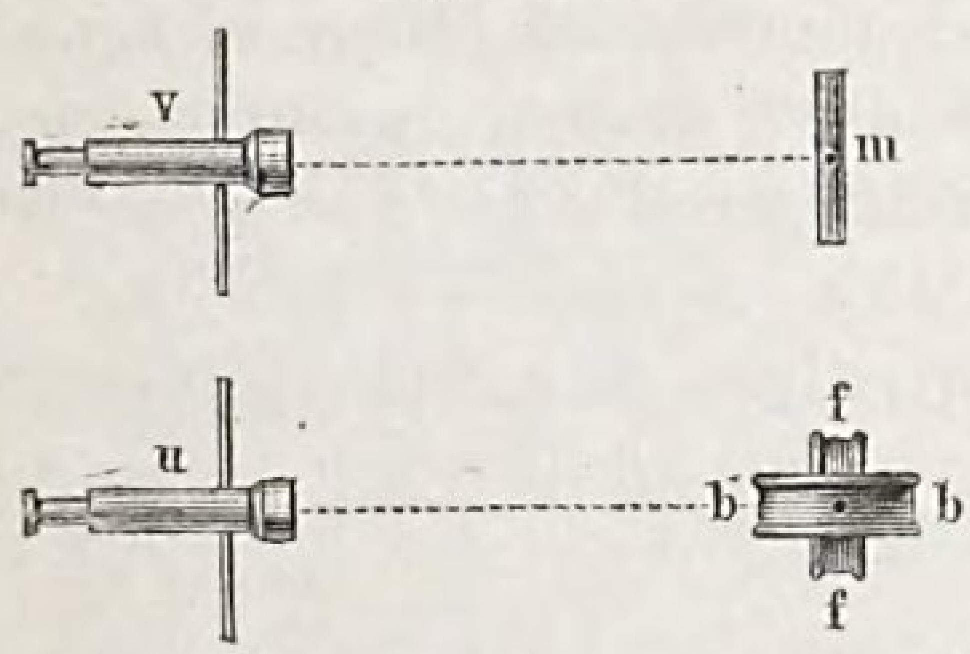
Die feste Drahtrolle, durch welche Weber auf die Bifilarrolle einwirkte, ist gleichfalls in Fig. 507 abgebildet. Sie besteht aus zwei dünnen parallelen Messingplatten von 89 mm Durchmesser, welche von einer $5\frac{1}{2}$ mm dicken messingenen Axe in 30 mm Abstand von einander festgehalten werden; diese Axe ragt auf beiden Seiten um 10 mm vor. Auf dem zwischen den beiden Scheiben befindlichen Theil der Axe ist ein mit Seide übersponnener $\frac{1}{3}$ mm dicker Kupferdraht ungefähr 1000 mal herumgewunden, so dass er den Zwischenraum zwischen den beiden Scheiben ganz ausfüllt.

Zur festen Aufstellung dieser Rolle dient ein hölzernes Gestell, welches auf Füssen mit Stellschrauben steht. Der vordere Fuss dieses Gestelles kann mittelst eines Charniers aufgeschlagen und dann die feste Rolle in die bewegliche eingeschoben und so aufgestellt werden, dass die drei Stellschrauben auf die Punkte *r s t* der Tischplatte zu stehen kommen (*t* ist in der Figur verdeckt). Bei dieser Stellung fallen die Mittelpunkte der festen und der beweglichen Rolle zusammen. Man kann aber auch die feste Rolle nördlich (wie es in der Figur der Fall ist) oder südlich, östlich oder westlich aufstellen. Um die feste Rolle jederzeit leicht in bestimmten Entfernungen von der beweglichen aufstellen zu können, sind auf der Tischplatte, wie es die Figur andeutet, eine Reihe von Punkten bezeichnet, auf welche man nur die drei Stellschrauben zu setzen braucht, damit der Mittelpunkt der festen Rolle in den erwähnten Richtungen 300, 400, 500 oder 600 mm weit von dem Mittelpunkte der beweglichen entfernt ist.

Eine erste Beobachtungsreihe wurde bei derjenigen Stellung der festen Rolle gemacht, für welche die Mittelpunkte beider Rollen zusammenfallen. Ein und derselbe Strom wurde durch die Bifilarrolle und dann durch die feste Rolle hindurchgeleitet und die Stärke des Stromes durch die Ablenkung gemessen, welche die feste Rolle an einem nördlich oder südlich angebrachten Magnetometer bewirkt. Die Anordnung des Versuches ist aus Fig. 508 ersichtlich. *b b* ist die Bifilarrolle, *ff* die feste Rolle und *m* das Magnetometer, während bei *u* und *v* Fernröhre mit Scalen zur Beobachtung der Drehung von *b* und *m* aufgestellt sind.

Wenn der Strom von 1 bis 3 Grove'schen Bechern gleichzeitig durch beide Rollen geht, so wird die Ablenkung der Bifilarrolle so gross, dass sie weit über die Gränzen der Beobachtungsscala hinausgeht, während der Strom der festen Rolle an dem Magnetometer eine für die Messung ganz geeignete Ablenkung hervorbringt. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, brachte Weber an den Zuleitungsdrähten für die Bifilarrolle eine Nebenschliessung an, durch welche die Stromstärke in der Bifilarrolle im Verhältniss von 246,26 zu 1 vermindert wurde, während der Strom in der festen Rolle unverändert blieb. Freilich ist jetzt die Stromstärke in beiden Rollen nicht mehr dieselbe, die Stromstärke der einen steht aber in einem constanten Verhältniss zu der in der anderen.

Fig. 508.



Diese Versuche ergaben das Resultat, dass die elektrodynamische Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte auf einander wirken, durch welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser Intensität proportional ist, wie es in dem Grundprincip der Elektrodynamik vorausgesetzt ist.

Hierauf folgte nun eine grössere Versuchsreihe, um zu erforschen, auf welche Weise die elektrodynamische Kraft, mit welcher die beiden Rollen aufeinander wirken, von ihrer gegenseitigen Lage und Entfernung abhängt.

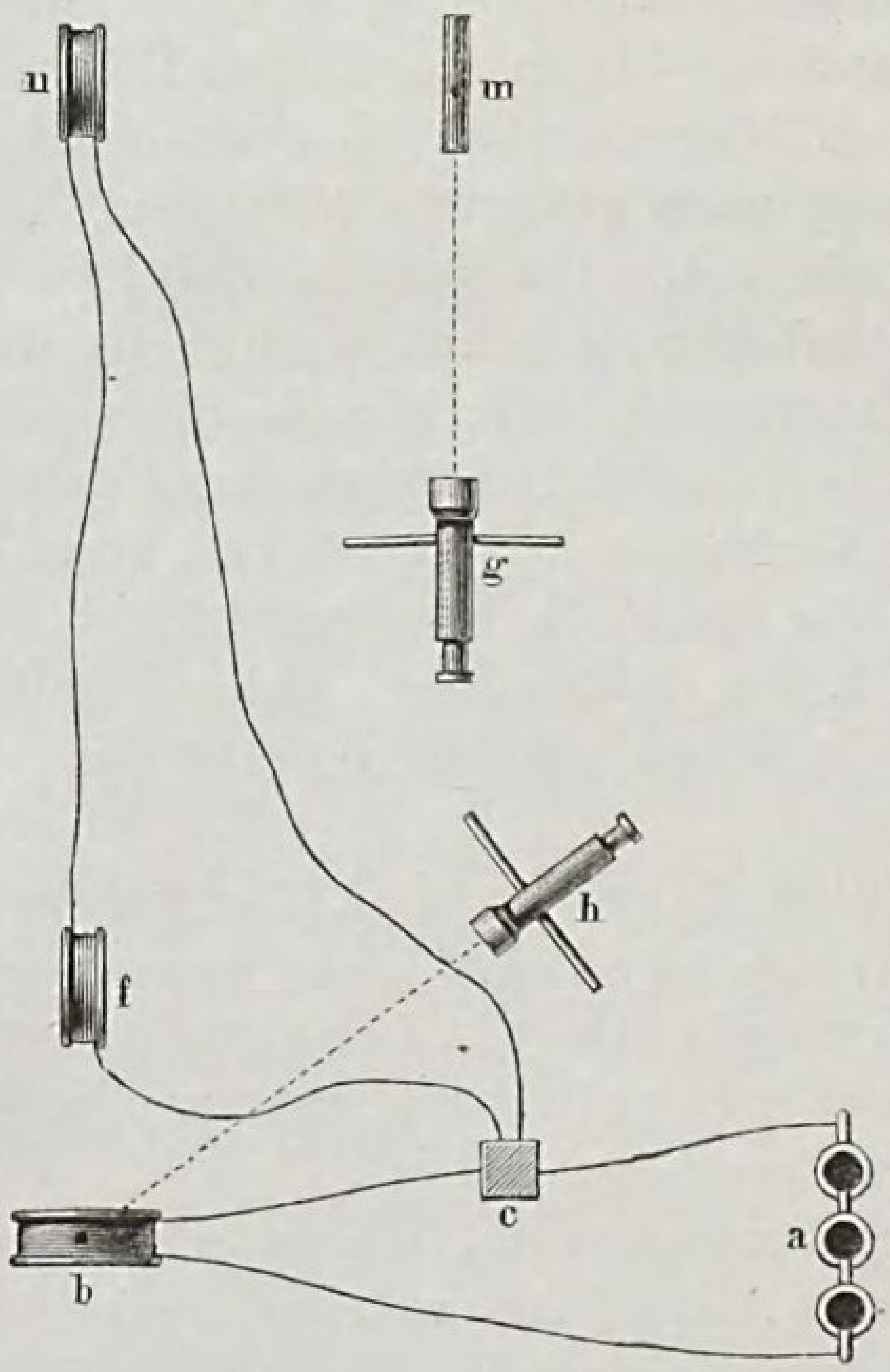
Zu diesem Zwecke wurde die feste Rolle der Reihe nach nördlich, östlich, südlich und westlich von der Bifilarrolle aufgestellt, wie dies schon oben aus einander gesetzt worden ist. Diese gegenseitigen Lagen und Entfernungen der beiden Drahtrollen entsprechen, wie man leicht sieht, genau den gegenseitigen Lagen und Entfernungen zweier Magnete, welche wir in §. 26 betrachtet haben. Der bifilar aufgehängte Ring vertritt hierbei die Stelle des Magnetometers oder der Magnetnadel, die feste Rolle die Stelle des Ablenkungsstabes.

Gleichzeitig mit den Ablenkungen des Dynamometers muss aber auch die Stromstärke gemessen werden. Auf die bei der vorigen Versuchsreihe angewandte Weise kann dies hier nicht geschehen, weil die Stellung der festen Rolle verändert wird; es wurde deshalb der Strom auch noch durch eine dritte unveränderlich fest stehende Drahtrolle geführt und die Ablenkung gemessen, welche diese an einem Magnetometer bewirkt. Die ganze Anordnung ist aus Fig. 509 (a. f. S.) zu ersehen.

b ist die Bifilarrolle, *f* die verstellbare Rolle, *m* ein Magnetometer, welches 8 m weit von *b* entfernt ist, *n* eine unveränderlich aufgestellte Rolle von 618 Windungen, welche von einem Strom durchlaufen auf das Magnetometer wirkt. Der Strom geht von dem einen Pole der galvanischen Säule *a* zur Bifilarrolle, von dieser zum Commutator *c*, dann

über die Rolle f zur Rolle n, von dieser zurück zum Commutator und von diesem endlich zum anderen Pole der Säule.

Fig. 509.



Durch den Commutator kann also die Stromrichtung in f und n geändert werden, während sie in der Bifilarrolle b stets dieselbe bleibt.

Es wurde nun bei jeder gegenseitigen Lage und Entfernung der beiden Drahtrollen f und b die Stellung von m und b für die eine Stromrichtung ermittelt, dann der Strom in f und n mittelst des Commutators umgekehrt und nochmals die Stellung von b und m abgelesen. Die Differenz der beiden Ablenkungen am Dynamometer giebt ein Maass für die Kraft, mit welcher die beiden Drahtrollen b und f auf einander wirken.

Da wir nun wissen, dass die elektrodynamische Wirkung der beiden Drahtrollen auf einander dem Quadrat der Stromstärke proportional sind, so ist man vermöge der am Magnetometer gemachten Messungen der Stromstärke im Stande, die gemessenen Ablenkungen der Bifilarrolle auf gleiche Stromstärke zu reduciren.

Diese Versuche gaben nun das wichtige Resultat, dass für die elektrodynamischen Wirkungen, welche diese beiden Drahtrollen in die Ferne auf einander ausüben, wirklich dieselben Gesetze gelten, wie für die gegenseitige Wirkung zweier Magnete, wie sich dies auch aus dem Ampère'schen Gesetze ergiebt.

166 **Ampère's Theorie des Magnetismus.** Nachdem Ampère die Gesetze der Elektrodynamik begründet hatte, suchte er alle Erscheinungen des Magnetismus auf dieselben zurückzuführen und stellte eine Theorie auf, nach welcher man sich jedes einzelne Molecül eines Magnets als von einem in sich selbst zurückkehrenden elektrischen Strom umkreist zu denken hat, den man der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen kann. Denken wir uns nun die sämmtlichen Molecularströmchen eines Stahlstabes rechtwinklig zu seiner Axe gestellt, so dass Fig. 510 das schematische Bild eines Querschnittes darstellt, so lässt sich die magnetische Wirkung des Stabes vollkommen durch die elektrodynamische Wirkung dieser Molecularströmchen erklären. Statt aller der elementaren Ströme eines jeden Querschnittes kann

man sich denselben von einem einzigen Strome umkreist denken, welcher gleichsam die Resultirende aller elementaren Ströme dieses Querschnittes ist, und somit lässt sich ein Magnetstab als ein System unter

Fig. 510.

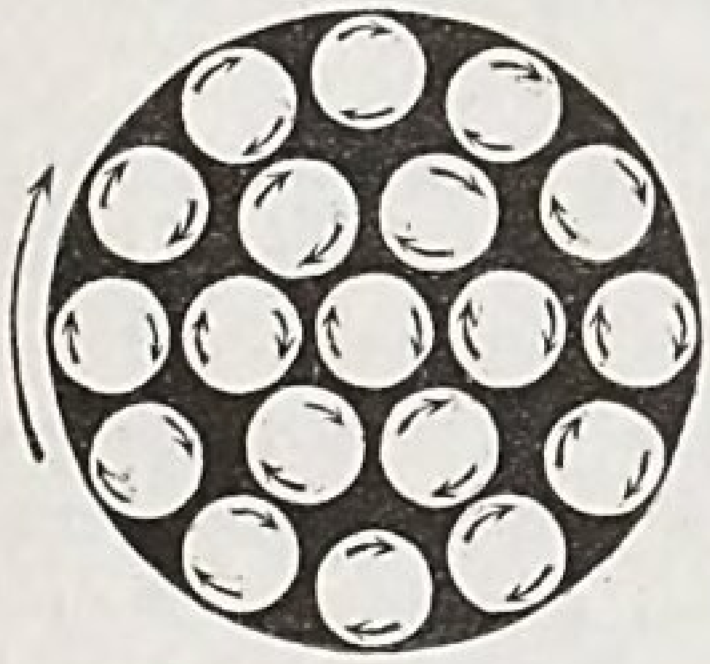
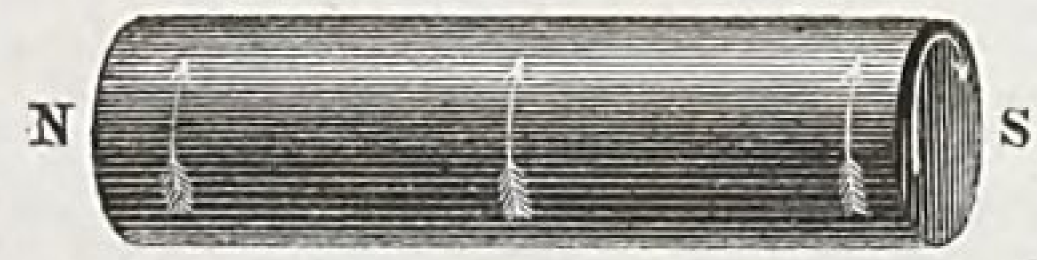


Fig. 511.



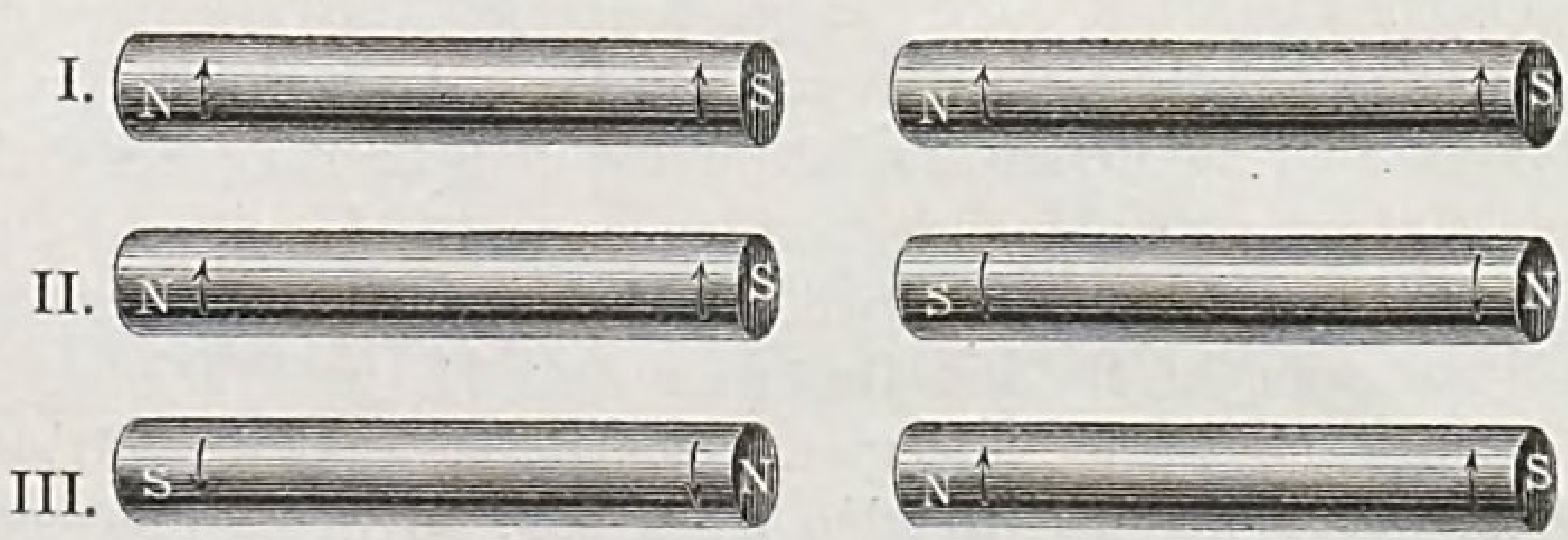
sich paralleler geschlossener Ströme denken, ungefähr so, wie es Fig. 511 anschaulich macht.

Was hier von einem Magnetstabe gesagt ist, lässt sich auch auf eine Magnetnadel, kurz, auf jeden Magnet, welche Form er auch haben mag, anwenden.

Um die Erklärung der Anziehung und Abstossung der Pole bei verschiedenen Stellungen der Magnete gegen einander recht anschaulich zu machen, zeichnet man am besten auf Cylinder von Holz oder Pappe, die ungefähr 30 bis 50 cm lang sind und 5 bis 7 cm im Durchmesser haben, Pfeile in der Weise, wie man Fig. 511 sieht, welche die Richtung der Ströme darstellen; ferner bezeichne man noch auf beiden Cylindern die Nordpole mit *N*, die Südpole mit *S*. Mit Hülfe zweier solcher Modelle lässt sich leicht begreiflich machen, warum gleichnamige Pole sich immer abstossen, ungleichnamige immer anziehen, in welcher Weise sie man auch übrigens einander nähern mag.

Stellt man z. B. zwei Stäbe so, wie Nro. I., Fig. 512 zeigt, dass die gleichnamigen Pole einander gegenüberstehen, so sind die Pfeile der ein-

Fig. 512.



ander gegenüberstehenden Pole gleich gerichtet, was einer Anziehung entspricht. Wenn dagegen die gleichnamigen Pole einander zugekehrt werden, wie in Nro. II. und III., Fig. 512, so haben die Pfeile an den einander zugekehrten Polen entgegengesetzte Richtung, woraus sich die Abstossung gleichnamiger Pole erklärt.

Trotz der Analogie zwischen einem elektrodynamischen Schraubendraht und einem Magnet sind dieselben doch keineswegs in allen ihren Wirkungen identisch. Während ein Magnet an seinen Enden am kräftigsten wirkt, findet sich beim Schraubendraht das Maximum der Wirkung in der Mitte. Poggendorff hat dies durch einen einfachen Versuch anschaulich gemacht.

Man verschaffe sich einen hohlen Magnetstab, etwa 7 cm lang und inwendig 5 mm weit; füttere ihn mit einer Glasröhre aus und halte ihn senkrecht, z. B. mit dem Nordpol nach oben. Nun schiebe man vorsichtig eine leichte magnetische Nähnadel von etwa 2 cm Länge mit ihrem Südpol von oben hinein. Sie wird nicht durchfallen, sondern zum Theil noch aus dem Magnet hervorragend oben schweben. Man kann sie sogar eine Strecke hinunterdrücken, und sie steigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem Schraubendrahte aber begiebt sich die Nadel sogleich in die Mitte und bleibt dort schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Um die Erscheinungen des Magnetismus mit Hülfe der Ampère'schen Elementarströmchen vollständig erklären zu können, muss man annehmen, dass sie die Eisen- oder Stahlmolecüle beständig umkreisen, dass sie also auf ihrem Wege um die Molecüle keinen Leitungswiderstand zu überwinden haben, denn sonst könnten sie ohne eine beständig wiederkehrende elektromotorische Kraft nicht continuirlich sein. Diese Molecularströme muss man ferner als frei um den Schwerpunkt ihrer Molecüle drehbar annehmen, nun wirkt die Coërcitivkraft, welche im Eisen unbedeutend, im Stahl dagegen sehr stark ist, ihrer Drehung entgegen und strebt sie in jeder Lage zurückzuhalten, welche sie eben einnehmen. Wenn auf einen Eisenstab keinerlei magnetisirende Kraft wirkt, so nehmen die einzelnen Molecularströmchen unter dem Einfluss ihrer gegenseitigen Einwirkung auf einander solche gegenseitige Stellungen an, dass ihre Totalwirkung auf irgend einen ausserhalb befindlichen magnetischen Punkt gleich Null ist, dass also der Eisenstab unmagnetisch erscheint. Jede magnetisirende Kraft, welche auf einen Eisen- oder Stahlstab wirkt, hat nun ein Bestreben, alle Molecularströme einander parallel zu stellen, welchem die gegenseitige Einwirkung der Molecularströme unter einander entgegenwirkt. Je stärker die magnetisirende Kraft, desto mehr wird die Lage der Molecularströme dem Parallelismus genähert. Die Gränze der Magnetisirung ist erreicht, wenn sämmtliche Molecularströmchen parallel gestellt sind. Hört die Wirkung der magnetisirenden Kraft auf, so wirkt die gegenseitige Einwirkung der Strömchen dahin, sie in ihre ursprüngliche, dem unmagnetischen Zustand entsprechende Lage zurückzuführen; bei einem Stahlstab hindert die Coërcitivkraft die vollständige Rückkehr in die ursprüngliche Lage, weshalb demselben ein permanenter Magnetismus bleibt.

Um nach der Ampère'schen Theorie die Erscheinungen des Erdmagnetismus zu erklären, muss man sich die Erde von elektrischen

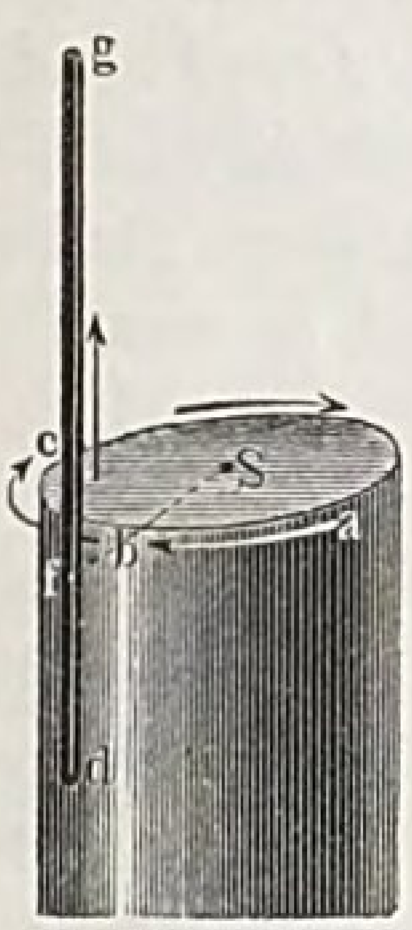
Strömen umkreist denken, welche im Wesentlichen dem magnetischen Aequator parallel sind, und zwar lässt sich leicht aus der Stellung, welche ein beweglicher Leiter, Fig. 479, S. 552, am Ampère'schen Gestell unter dem Einfluss des Erdmagnetismus einnimmt, der Schluss ziehen, dass diese Erdströme von Ost nach West gehen.

Wenn die Annahme der Molecularströme auch nicht als theoretisch haltbar zu bezeichnen ist, so giebt sie doch ein bequemes Hülfsmittel ab, um eine grosse Gruppe von Erscheinungen von einem gemeinsamen Gesichtspunkte aus aufzufassen und abzuleiten.

Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magnet. 167

Es sei *S*, Fig. 513, die obere Endfläche (Südpol) eines vertical stehenden Magnets, *dg* ein neben ihm befindlicher, noch über den Pol *S* des Magnets hinausragender Leitungsdraht, in welchem ein positiver Strom aufsteigt. Bezeichnen wir nun mit *f* denjenigen Punkt des Drahtes, welcher mit dem oberen Ende des Magnets in gleicher Höhe liegt, so ist nach den in §. 163 auseinandergesetzten Principien klar, dass das Stück *ab* des Magnetstromes auf das Drahtstück *fg* abstossend wirkt, während dasselbe von der Partie *bc* des Magnetstromes angezogen wird; ist also der Leitungsdraht *dg* um die verticale Axe des Magnets frei drehbar, so muss er in Folge dieses Impulses in der Richtung der Pfeile *ab* und *bc* um den Magnet rotiren.

Fig. 513.



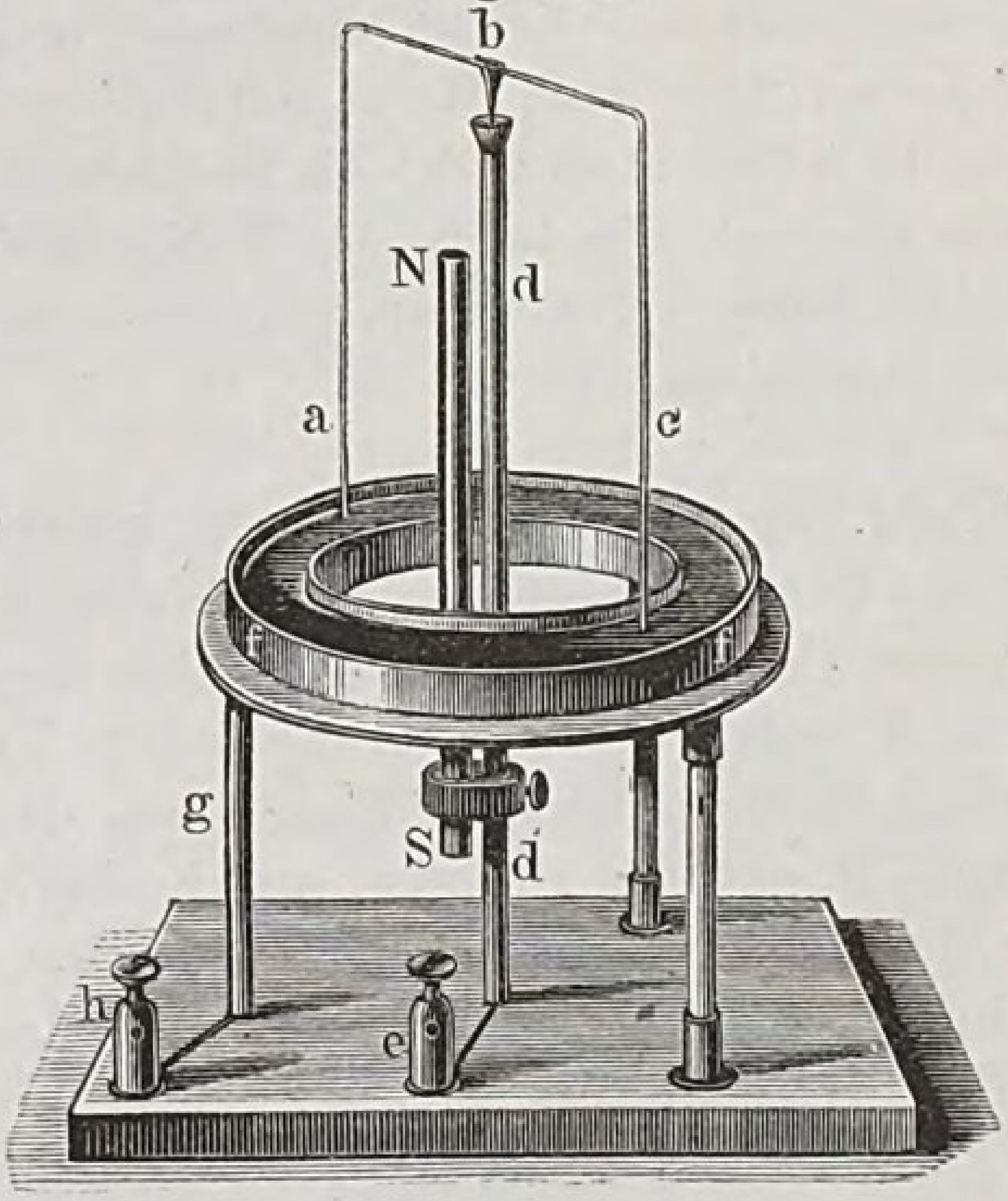
Die gleiche Wirkung übt nun der Magnetstrom eines jeden horizontalen Querschnitts des Magnets auf das über ihm befindliche Stück des Drahtes *dg* aus, während er den unterhalb seiner Ebene befindlichen Theil des Drahtes in entgegengesetzter Richtung zu drehen strebt. Der Draht wird aber doch in der zuerst bezeichneten Richtung, in der Richtung der Pfeile *ab* und *bc*, rotiren, denn die Summe der Kräfte, welche ihn in dieser Richtung zu drehen streben, ist über die entgegengesetzt wirkenden weitaus überwiegend, weil sich der Draht nicht bis zum unteren Ende des Magnets erstreckt, aber bedeutend über das obere Ende desselben hinausragt.

Bei umgekehrter Stromrichtung muss der Draht unter sonst gleichen Umständen in entgegengesetzter Richtung rotiren. Ebenso hat eine Umkehrung der Polarität des Magnets eine Umkehrung der Polarisationsrichtung zur Folge.

Fig. 514 (a. f. S.) stellt einen Apparat dar, mit welchem man die eben besprochene Rotationserscheinung zeigen kann. Eine Metallsäule *dd*, welche unten mit der Klemmschraube *e* verbunden ist, trägt oben ein stählernes Quecksilbernäpfchen, in welches mittelst einer Stahlspitze der kupferne Drahtbügel *abc* eingesetzt ist. Die unteren Enden dieses Drahtbügels tauchen in eine Quecksilberrinne *f*, welche mit der Klemm-

schraube *h* leitend verbunden ist. Wird nun bei *h* der positive, bei *e* der negative Pol der Säule eingeschraubt, so geht der positive Strom in den Drahtarmen *a* und *c* in die Höhe, dann von beiden Seiten nach *b* und von da durch die Säule *d d* herab.

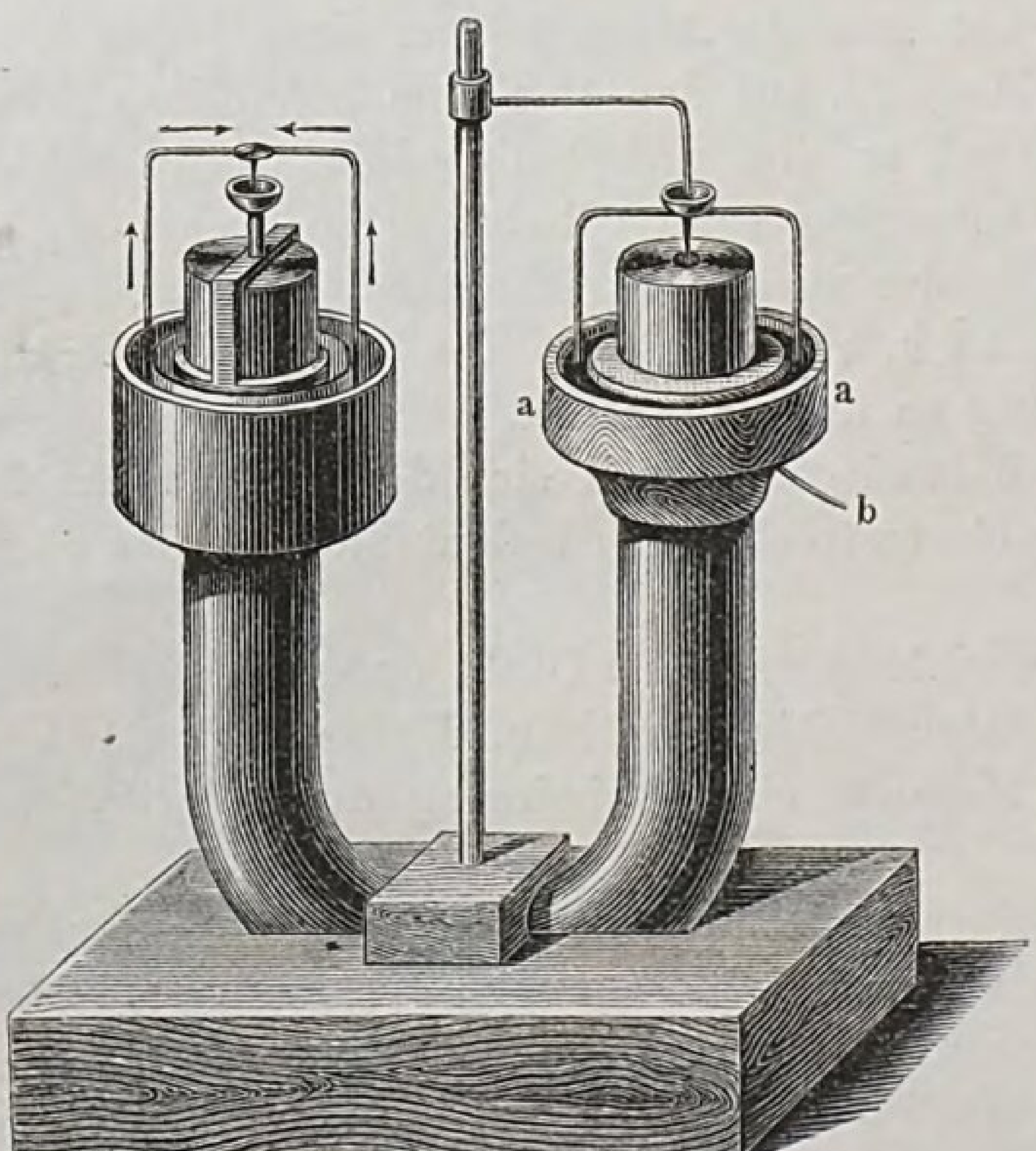
Fig. 514.



An der Säule *d d* ist eine Fassung angebracht, welche auf- und niedergeschoben werden und in beliebiger Höhe festgestellt werden kann; sie trägt den kräftigen Stahlmagnet *N S*, unter dessen Einfluss der durchströmte Leiter in Rotation geräth.

Fig. 515 zeigt zwei Abänderungen dieses Versuches. Eine Hülse *a a* von Holz, ganz ähnlich der in der vorigen Figur und in gleicher Weise mit einer Rinne zur Aufnahme von Quecksilber versehen, ist auf einem Pol eines starken Hufeisenmagnets befestigt. In einer kleinen Vertiefung in der Mitte des Pols sitzt, von einer Stahlspitze getragen, ein Drahtbügel, dessen Enden in die Quecksilberrinne hinabhängen. In der Mitte ist dieser Drahtbügel mit einem Quecksilbernäpfchen versehen, in welches eine Drahtspitze eintaucht, die mit dem einen Pole des Rheomotors verbunden ist, während der vno unten in das Quecksilber der Rinne hineinragende Draht *b* mit dem anderen Pole in leitender Verindung steht.

Fig. 515.



Auf dem anderen Pole des Hufeisenmagnets, Fig. 515, ist eine von Faraday angegebene Rotationsrichtung angebracht, welche selbst den

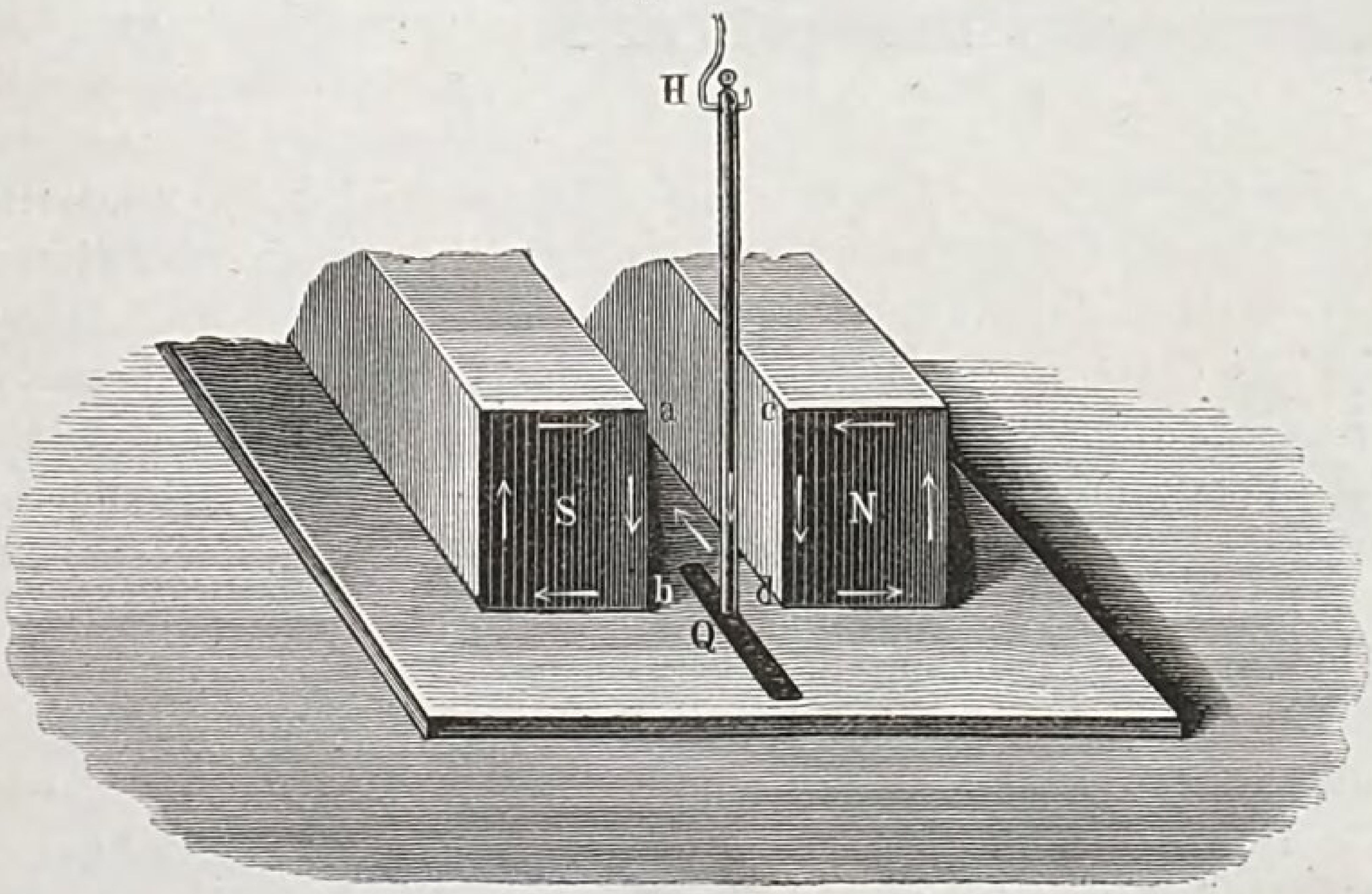
Rheomotor bildet. Statt der hölzernen Rinne ist ein Gefäss von Zink über den Magnetpol geschoben, welches, durch zwei concentrische Cylinder und eine Bodenfläche gebildet, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt wird. An der inneren Wand des Zinkgefässes ist ein Zinkbügel befestigt, welcher auf der oberen Fläche des Magnetpoles aufsitzt. Auf der Mitte dieses Bügels steht ein Kupferstäbchen, welches oben mit einem Quecksilbernäpfchen endet; in dieses Quecksilbernäpfchen ist mittelst einer Stahlspitze ein Bügel von Kupferdraht eingesetzt, welcher unten einen Ring von dünnem Kupferblech trägt, der in das saure Wasser des Zinkgefässes hineinhängt. Es geht nun der positive Strom vom Zinkgefässe durch die saure Flüssigkeit zum Kupferstreifen, von diesem durch die Kupferdrähte erst in die Höhe, dann horizontal fort zum Quecksilbernäpfchen; es muss also die Rotation nach dem angeführten Gesetze eintreten.

In den beiden letztgenannten Fällen ist es jedoch nicht allein die Einwirkung des Magnets auf den im Drahte aufwärts gehenden Strom, welcher die Rotation bewirkt, sondern diese rührt zum Theil auch von der Einwirkung des Magnetpols auf den horizontalen Theil des beweglichen Stromleiters her.

Eine andere hierher gehörige Bewegung eines elektrischen Stromleiters unter dem Einfluss eines Magneten ist in Fig. 516 dargestellt.

Zwischen den Polen *N* und *S* eines horizontal liegenden Stahlmagnets ist eine Quecksilberrinne *Q* angebracht. Ein senkrecht an dem

Fig. 516.

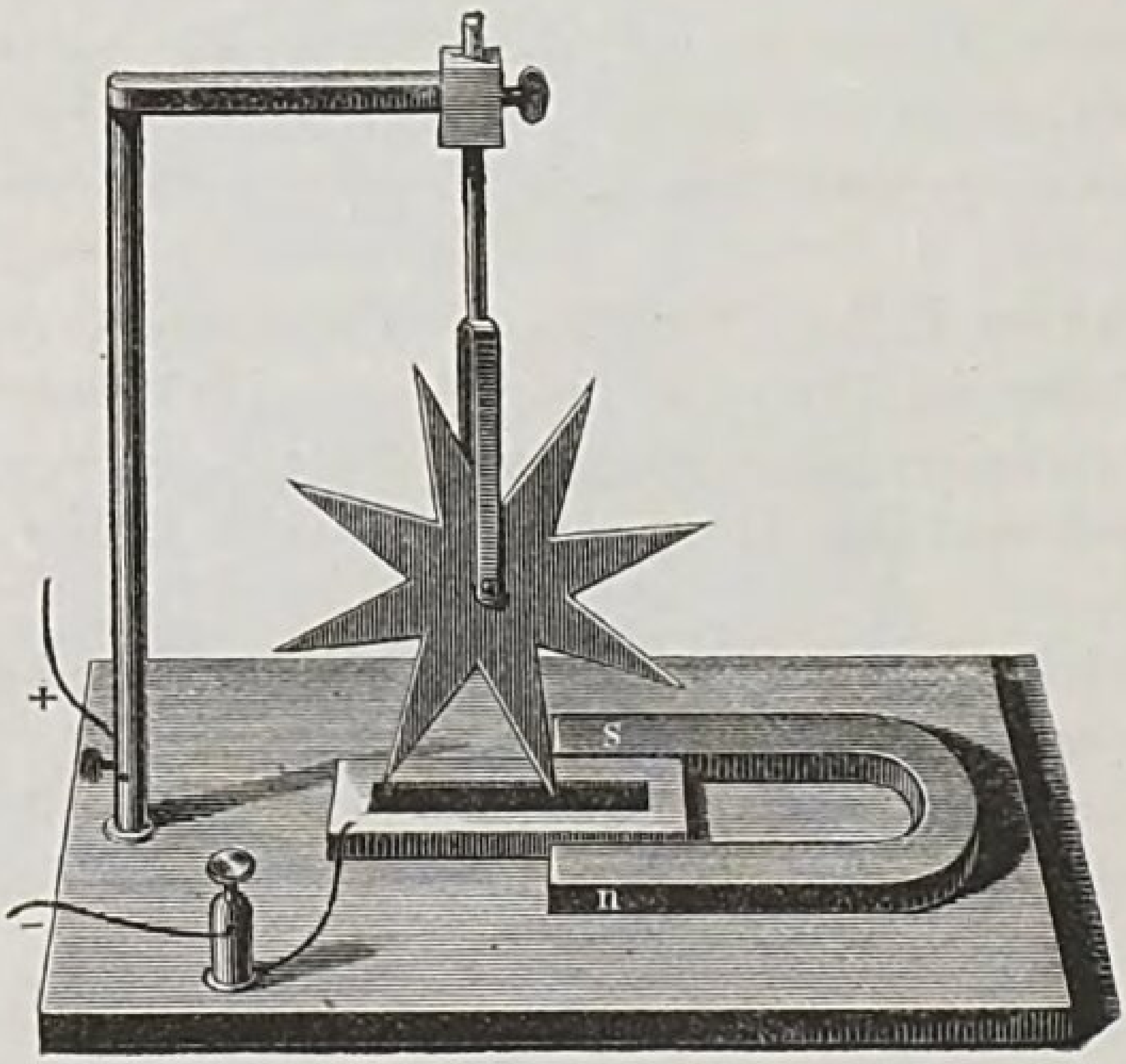


Haken *H* frei beweglich aufgehängter Kupferdraht taucht in das Quecksilber. Lässt man nun einen Strom von *H* gegen *Q* durch den Draht gehen, so wird derselbe nach rückwärts dem Magnete genähert, geht der Strom aufwärts, so wird er nach vorne abgestossen. Kehrt man die Pole des Magneten um, so erfolgen alle Bewegungen umgekehrt.

Die Erklärung ist sehr einfach, wenn man sich den Magnetpol durch zwei Systeme von Ampère'schen Strömen ersetzt denkt. Die in der Figur gezeichneten Pfeile zeigen deren Richtung. Die dem Stromleiter HQ am nächsten stehenden Molecularströme ab und cd geben den Ausschlag, sie ziehen den gleichgerichteten Strom HQ an, stossen einen entgegengesetzten Strom QH ab.

Auf diesem Princip beruht Barlow's Rädchen, Fig. 517. An Stelle des Stromleiters HQ der Fig. 516 tritt hier je eine Speiche des sternförmigen Rades. Der Strom wird der Axe des Rades zugeführt und gelangt von der Quecksilberrinne zurück zur Batterie. Bevor noch die vom Strom durchflossene Speiche das Quecksilber verlässt, tritt eine folgende in dasselbe ein und erhält denselben Antrieb. Wechselt man den Strom oder die Magnetpole, so kehrt sich die Rotationsrichtung um.

Fig. 517.



Man kann den permanenten Magnet durch einen Elektromagnet ersetzen, den man mittelst desselben Stromes magnetisirt. In diesem Falle bringt dann Stromwechsel keine Umkehr der Rotation hervor, weil auch die Magnetpole gleichzeitig umgekehrt werden.

Wir machen darauf aufmerksam, dass dieser Apparat bei aller Verschiedenheit der äussern Anordnung auf demselben Princip beruht, wie Pacinotti's Ring oder Kravogel's elektromagnetischer Motor. Die zwischen dem innern und entgegengesetzten äussern Magnetpole befindlichen Drahtwindungen der letzteren Apparate werden nach demselben Princip in Bewegung gesetzt, wie hier der Stromleiter zwischen den entgegengesetzten Polen des Elektromagnets.

Die Rotation galvanischer Ströme unter dem Einfluss von Magneten ist zuerst von Humphry Davy entdeckt worden, welcher 1821 die Rotation des galvanischen Flammenbogens unter dem Einfluss eines Magnetpoles betrachtete. Durch die Bewegung der erhitzten Luft wird der Lichtbogen bestimmt, stets eine nach oben gewölbte Biegung anzunehmen, wie auch Fig. 1 auf Tab. I. zeigt. Dieser Flammenbogen ist aber ein beweglicher Leiter, auf welchen der Erdmagnetismus eine richtende Kraft ausübt, und so kommt es, dass bei horizontal gegenüberstehenden Kohlenspitzen der Flammenbogen nie ganz vertical steht, son-

dern, je nach der Lage der Kohlenspitzen, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite geneigt ist. Durch die Annäherung eines Magnetstabes kann man den Flammenbogen aus seiner durch den Erdmagnetismus bestimmten Stellung heraustreiben. Wird statt des einen Kohlenpoles ein Magnetpol angewendet, so dass der Flammenbogen sich zwischen Kohle und Stahl bildet, so rotirt der Flammenbogen um den magnetischen Stahlpol nach denselben Gesetzen, nach welchen überhaupt ein beweglicher Strom um einen festen Magnet rotirt.

Ein auf demselben Princip beruhendes Experiment von de la Rive werden wir später beim Inductionsapparate von Rhumkorff kennen lernen.

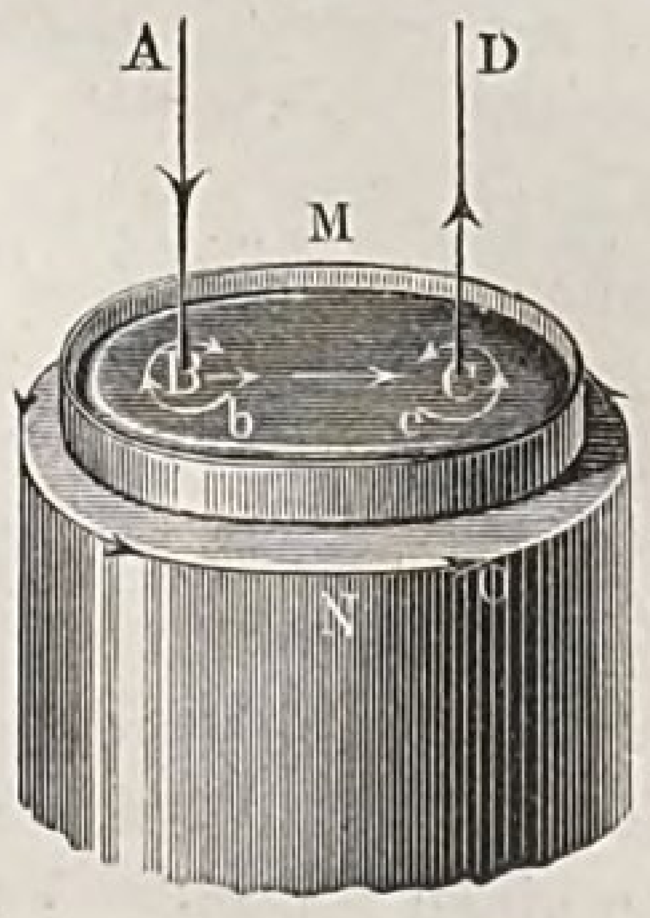
Faraday entdeckte in demselben Jahre (1821) die Rotation eines starren Stromleiters um einen Magnetpol und gab dadurch den Schlüssel zur Erklärung der Erscheinung, welche am Flammenbogen beobachtet worden war. Im Jahre 1823 zeigte Davy, dass auch ein flüssiger metallischer Leiter, Quecksilber oder geschmolzenes Zinn, unter gleichen Umständen wie ein starrer in elektromagnetische Drehung versetzt werden kann, eine Thatsache, welche späterhin auch bei nicht metallischen flüssigen Leitern nachgewiesen wurde.

So rasch dieser Kreis von Erscheinungen in experimenteller Hinsicht durchforscht worden ist, so schnell hat er auch in theoretischer Beziehung seine Erledigung gefunden. Ampère, obwohl die continuirlichen Rotationen nicht voraussehend, hat sie sehr bald auf die von ihm entdeckten elektrodynamischen Gesetze zurückgeführt.

Davy stellte seine Versuche über die Rotation von Flüssigkeiten zuerst in der Art an, dass er in eine mit Quecksilber gefüllte Schale die beiden Poldrähte einer sehr kräftigen Volta'schen Batterie lothrecht hinabgehen liess, und nun von unten her einen Magnetpol näherte, wie Fig. 518 zeigt. — Das Quecksilber rotirte um die beiden Drähte in entgegengesetzter Richtung.

Hierauf leitete er die beiden Drähte von unten her, durch den Boden der Schale, und überzog dieselben soweit mit Siegellack, dass nur ihre zuvor abgeflachten und polirten Enden entblösst blieben und mit dem Quecksilber in Berührung kamen, von welchem sie nur etwa 2 mm hoch bedeckt wurden. Jetzt kam die Rotation des Quecksilbers auch ohne Magnet, nur nicht so stark, zum Vorschein, und über den beiden Drahtenden zeigte sich eine Hebung des Quecksilbers von 2 bis 4 mm, es bildeten sich also zwei Kegel, von deren Gipfel das flüssige Metall fortwährend nach allen Seiten abfloss. Durch die Annäherung eines Magnetpoles von oben her konnten diese Kegel bis zum Spiegel des Quecksilbers abgeflacht, ja sogar eine Ver-

Fig. 518.



tiefung hervorgebracht werden, während die Masse zugleich schneller herumwirbelte.

Nach Poggendorff's Ansicht entspringt die Hebung des Quecksilbers über den Enden der Poldrähte aus der Repulsion, welche, nach Ampère's Theorie, zwei in gerader Richtung auf einander folgende Theilchen desselben Stromes auf einander ausüben.

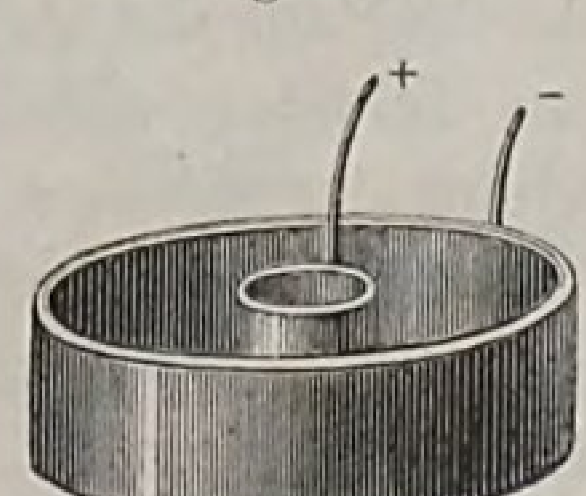
Die Depression des Quecksilbers, welche durch einen Magnetpol hervorgebracht wird, erklärt sich einfach durch die bei der rascheren Rotation kräftiger wirkende Centrifugalkraft.

Um diese Depression auch mit geringeren Mitteln hervorzubringen, verfuhr Poggendorff folgendermaassen: In ein Uhrglas oder Porcellanschälchen werden etwa 30 g Quecksilber gegossen und das Gefäss auf eine vertical stehende Drahtrolle gesetzt, die einen Eisenkern umschliesst; für diese Drahtrolle kann man natürlich auch den einen Schenkel eines U-förmigen Elektromagnets in Anwendung bringen, dessen Pole nach oben stehen. — In das flüssige Metall werden nun zwei Drähte von Eisen oder Platin eingetaucht, der eine nahe am Rande, der andere in der Mitte der runden Masse, und zwar der letztere so, dass er etwa nur 1 mm in das Quecksilber eintaucht. Werden nun die erforderlichen Verbindungen gemacht, um den Strom einer galvanischen Säule durch die Windungen der Magnetisirungsspirale und dann durch den einen der besprochenen Drähte in das Quecksilber ein-, durch den anderen Draht herauszuleiten, so tritt beim Schliessen der Kette sogleich eine lebhafte Rotation des Quecksilbers ein.

Im ersten Moment geschieht die Rotation um beide Drähte in entgegengesetzter Richtung, aber bald überwiegt die um den centralen Draht, wegen seiner vortheilhafteren Stellung, und nun hat man also nur eine einzige Rotationsrichtung. In Folge der durch diese Rotation erzeugten Centrifugalkraft senkt sich das Quecksilber in der Mitte, und wenn der centrale Draht nicht zu tief eingetaucht ist, kommt bald ein Moment, wo das Quecksilber sich von ihm abtrennt, und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Die Rotationsgeschwindigkeit des Quecksilbers nimmt nun allmälig ab, es steigt in der Mitte, bis es endlich wieder mit dem centralen Draht in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geschwindigkeit von Neuem beginnt.

Die Rotation nicht metallischer flüssiger Leiter lässt sich am bequemsten in folgender Weise zeigen. Zwei concentrische Ringe von Kupferblech, deren grösserer ungefähr 5, deren kleinerer 1 cm Durchmesser hat, Fig. 519, sind durch einen wohlgefirnissten eingekitteten Boden von Holz zu einem Gefässe verbunden, welches mit einer leitenden Flüssigkeit, etwa mit einer Lösung von Kupfervitriol, gefüllt wird. Setzt man dieses Gefäss auf den einen Pol eines kräftigen Elektromagnets, verbindet man dann die eine

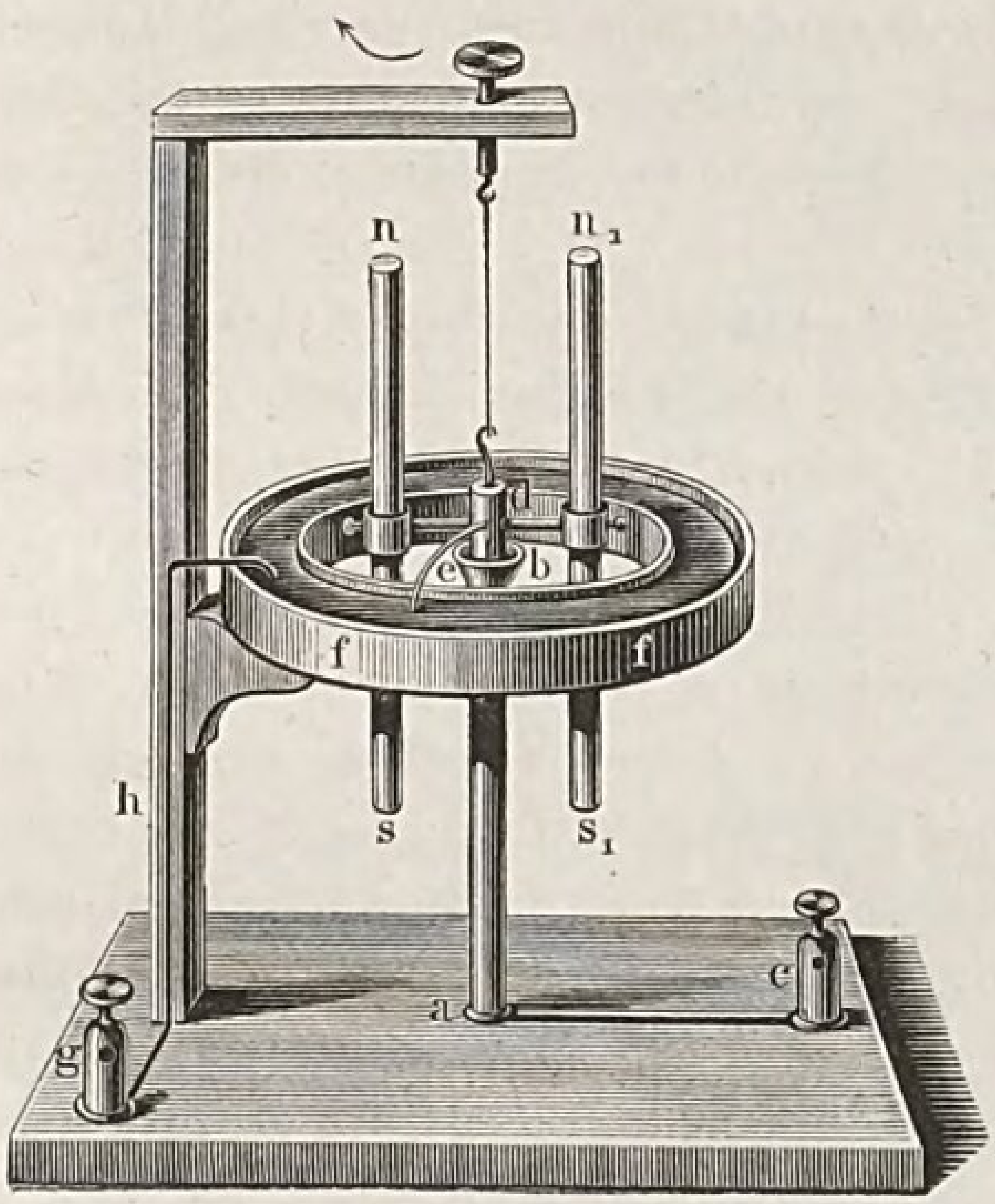
Fig. 519.



Kupferwand mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pole eines constanten Bechers, so beginnt alsbald die elektromagnetische Rotation der Flüssigkeit.

Rotation eines beweglichen Magnets um einen festen Strom. 168 Wäre der Strom dg, Fig. 513, fest, der Magnet aber um dg drehbar, so würden dieselben Kräfte, welche im vorigen Falle den Strom um den Magnet drehten, nun den Magnet in Rotation versetzen. Der Apparat, Fig. 520, dient dazu, um diese Rotation zu bewerkstelligen. Der Metallstab $a\,b$ endet oben mit einem Quecksilbernäpfchen b, während er unten mit der Klemmschraube c leitend verbunden ist. Von einem vertical über dem Quecksilbernäpfchen befindlichen Häkchen hängt der das Messingstückchen d tragende Faden herab, an welchem unten eine in das Quecksilber des Näpfchens b eintauchende Spitze befestigt ist, die aber nicht auf dem Boden des Näpfchens aufsitzen darf.

Fig. 520.



An d ist ein horizontaler Draht e befestigt, dessen nach unten gebogenes freie Ende in das Quecksilber der Rinne f eintaucht, welches durch den Draht h mit der Klemmschraube g in leitender Verbindung steht. Ist nun in c der positive, in g der negative Poldraht des Elements eingeschraubt, so steigt der positive Strom im Stäbchen $a\,b$ auf, gelangt von d durch den Draht e in das Quecksilber der Rinne f, um von da zur Klemmschraube g zu gehen.

An dem Messingstück d sind nun aber ferner zwei diametral gegenüberstehende horizontale Arme angebracht, welche mit Hülsen zur Aufnahme der Stahlmagnete $n\,s$ und $n_1\,s_1$ dienen. Wenn beide Magnete gleich gerichtet, also zwei gleichnamige Pole nach oben gekehrt sind, so rotirt das an dem Faden aufgehängte System um denselben, weil die Wirkung, welche der Strom in $a\,b$ auf den einen Magnetstab ausübt, durch die Wirkung des Stromes auf den anderen Magnetstab unterstützt wird. Kehrt aber der eine Magnetstab seinen Nordpol, der andere seinen Südpol nach Oben, so ist keine Rotation möglich, weil der Strom jeden der beiden Magnetstäbe nach entgegengesetzter Richtung zu bewegen strebt.

Die Richtung der Rotation hängt davon ab, ob die Nordpole oder die Südpole der Magnete nach unten gekehrt sind, und in welcher Richtung der Strom circulirt. Nehmen wir an, der positive Strom stiege in *ab* in die Höhe, so müsste in diesem Stäbchen die Ampère'sche Figur aufrecht stehen. Wenn nun der Südpol der beiden Magnete nach unten gekehrt ist, so wird, wenn die Figur nach einem Magnetstabe hinsieht, die Rotation nach ihrer rechten Seite hin gehen, die Magnete rotiren also in der Richtung wie der Zeiger einer Uhr.

Wenn man den Strom durch die eine Hälfte der Axe eines Magnets selbst auf- oder niederströmen lässt, so rotirt er um seine eigene Axe, wenn seine Aufhängung oder seine Aufstellung eine solche Rotation erlaubt.

Die Richtung der Drehung findet ganz in der Weise statt, wie es das Ampère'sche Gesetz verlangt. Ist nämlich das Nordende oben, so dreht sich dasselbe immer nach der linken Seite der in den Strom eingeschaltet gedachten menschlichen Figur. Ist das Südende oben, so geht die Bewegung in umgekehrter Richtung vor sich.

Um einen Magnet um seine eigene Axe rotiren zu machen, kann man den Apparat, Fig. 521, anwenden, zu dessen Verständniss wohl wenige Bemerkungen hinreichen. Der Magnetstab *ns* ist oben und unten mit Stahlspitzen versehen, welche so gefasst sind, dass er leicht um seine verticale Axe drehbar ist. Die untere Spitze taucht in ein Quecksilbernäpfchen ein, durch welches eine gut leitende Verbindung zwischen dem unteren Ende des Magnetstabes und der Klemmschraube *a* hergestellt wird. In seiner Mitte trägt der Magnetstab eine Hülse *c*, an welcher

Fig. 521.

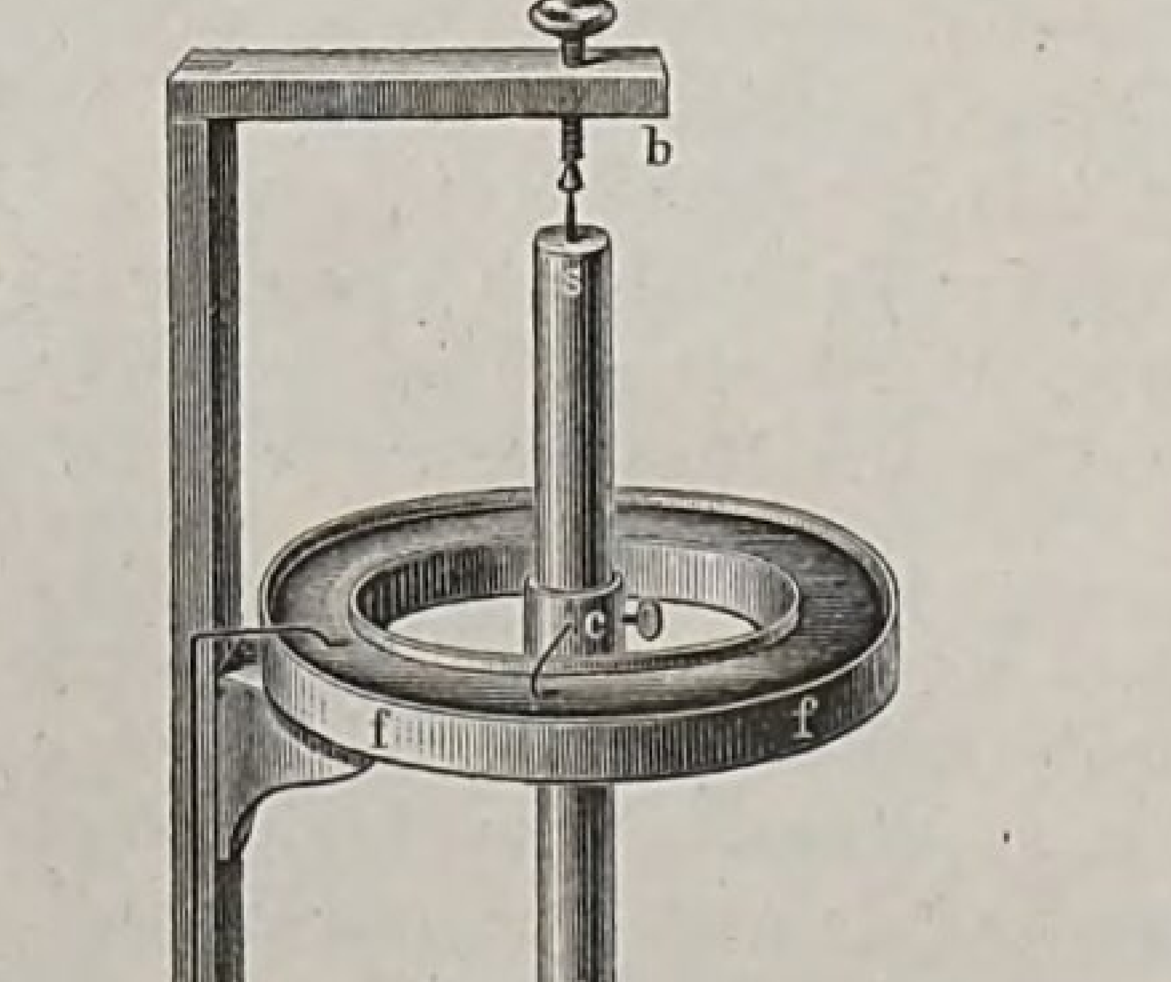
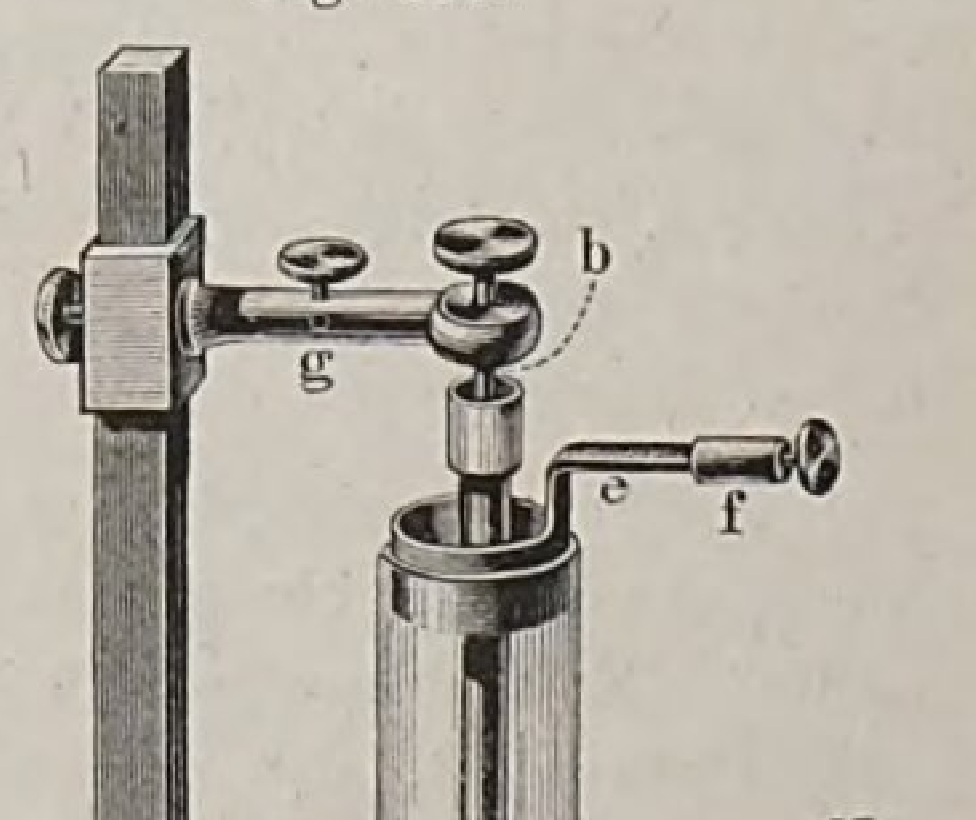


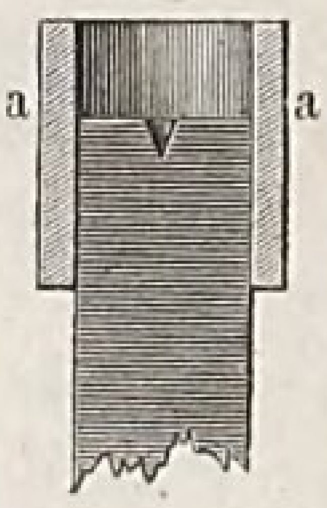
Fig. 522.



ein zur Quecksilberrinne *f* führender Kupferdraht befestigt ist. Der Strom kann also nur die untere Hälfte des Magnetstabes durchlaufen.

Fig. 522 stellt einen anderen zur Anstellung dieses Versuches sehr zweckmässigen Apparat dar. Auf dem Brettchen *MM* steht ein Cylinderglas, auf dessen Boden ein mit einer Stahlspitze versehenes Brettchen aufgekittet ist. Auf diese Spitze wird der Pol eines cylindrischen Magnets mit der kleinen Vertiefung gesetzt, die er noch vom Abdrehen her hat. Auf dem oberen Pole ist, wie man Fig. 523 deutlich sieht, eine Hülse *a a* von Holz oder Elfenbein aufgeschoben, welche ein Quecksilbernäpfchen bildet. Eine stählerne Schraube *b*, welche unten mit einer Spitze endet, die jener im Glase vertical gegenübersteht, wird nun soweit gegen das obere Kernloch des runden Magnets heruntergeschraubt, dass derselbe zwischen beiden Spitzen noch etwas Spielraum hat, aber dieselben noch nicht verlassen kann. Ein Kupferstreifen *e* trägt einen nicht ganz geschlossenen, durch Federung gegen die Wände des Glases drückenden kupfernen amalgamirten Ring. In die Hülse *a a*, Fig. 523, giesst man nun etwas Quecksilber und in das Glas so viel, dass der untere Rand des Kupferringes in Quecksilber eingetaucht ist. Der Magnet kann sich nun zwischen den beiden Spitzen ungemein leicht drehen weil sein Gewicht durch den Auftrieb des Quecksilbers getragen wird.

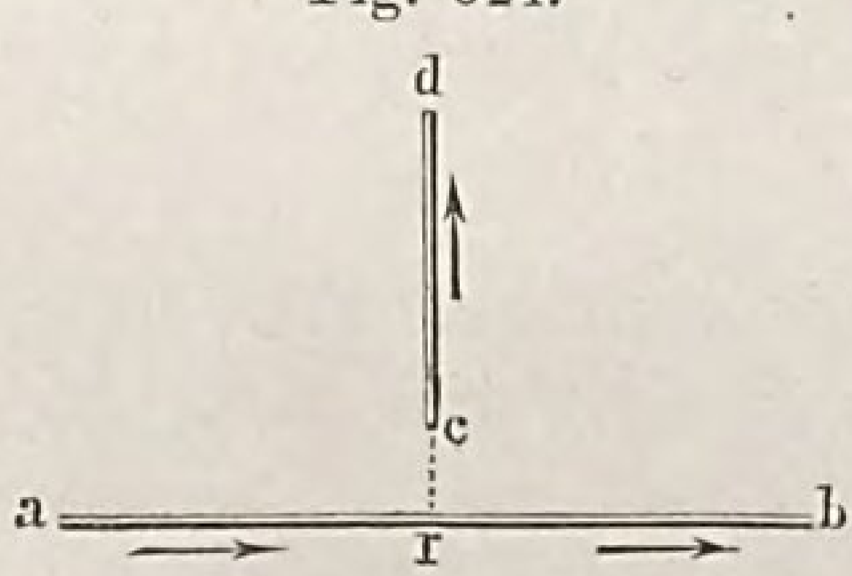
Fig. 523.



Wird der eine Poldraht eines constanten Bechers bei *f*, der andere bei *g* eingeschraubt, so beginnt die Rotation nach den bekannten Gesetzen.

Rotation eines Stromes unter dem Einfluss eines anderen. 169
Denken wir uns einen festen unbegränzten Strom *a b* und einen Strom *c d*, Fig. 524, welcher von dem festen Strom *a b* wegströmt, und welcher parallel mit sich selbst verschiebbar ist, so wird, wenn der Kreuzungspunkt in *r* ist, zwischen den Theilen *c d* und *r b* Anziehung, zwischen *a r* und *c d* aber Abstossung stattfinden. Jede dieser beiden Kräfte lässt sich in zwei andere zerlegen, von denen die eine parallel mit *a b*, die andere rechtwinklig auf *a b* ist. Da *c d* nun in der Richtung von *a b* verschiebbar ist, so können die mit *c d* parallelen Composanten keine Wirkung hervorbringen; die mit *a b* parallelen aber vereinigen sich zu einer Resultirenden, welche den Strom *c d* in der Richtung von *a* nach *b* forttreibt.

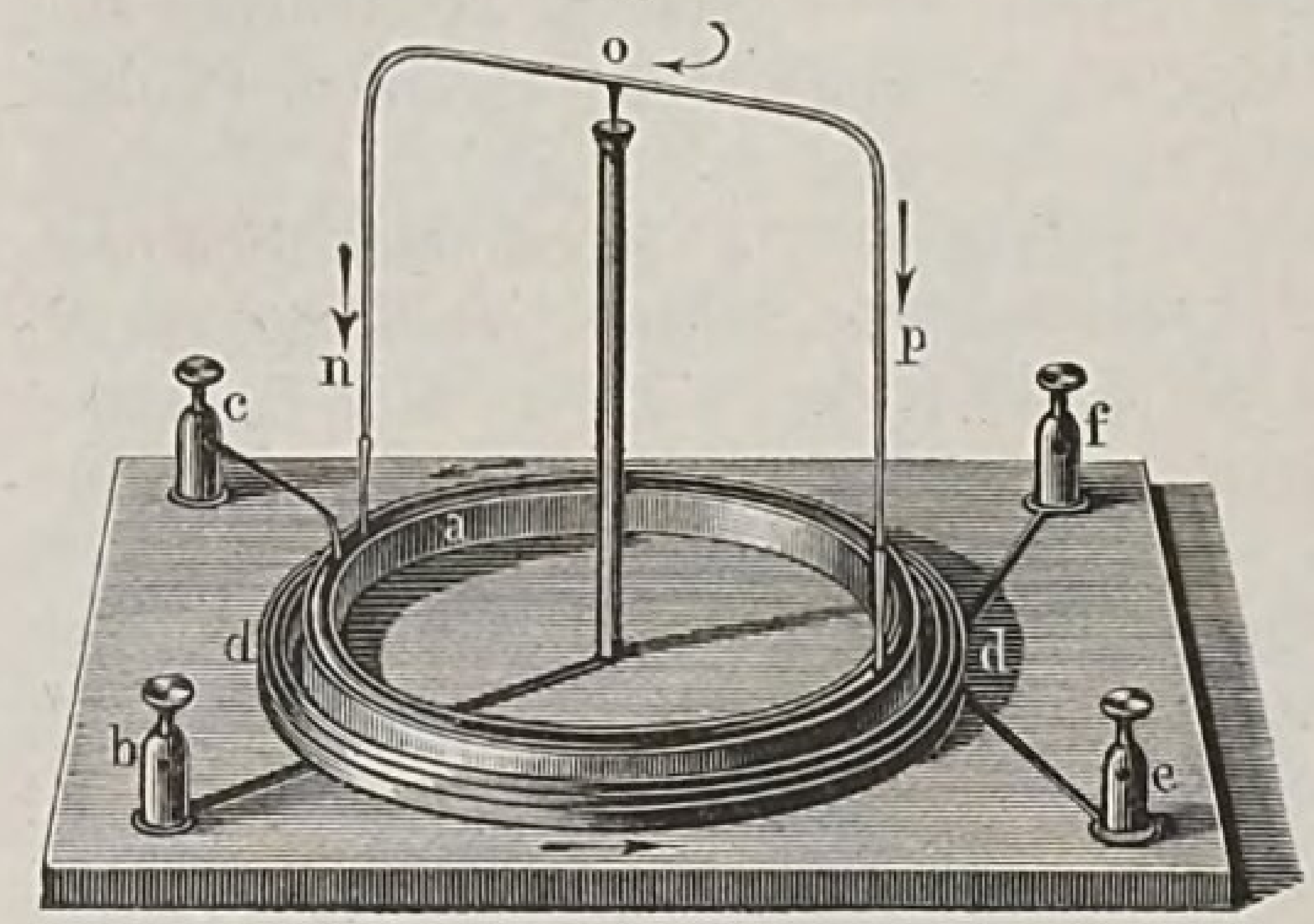
Fig. 524.



Wenn der feste Strom *a b* kreisförmig gebogen ist, so muss sich der Strom *c d* in Folge derselben Wirkung beständig im Kreise herumdrehen, wenn er in der geeigneten Weise beweglich gemacht wird, wie z. B. bei dem Apparat Fig. 525, wo *n o p* der auf einer Stahlspitze bei *o* spielende Leitungsdraht ist. Die Stahlspitze sitzt in einem Quecksilbernäpfchen,

welches den Gipfel eines mit der Klemmschraube *b* leitend verbundenen Metallsäulchens bildet. Der in dem Metallsäulchen aufsteigende Strom geht in den verticalen Armen *p* und *n* des um *o* drehbaren Leiters herab, deren Enden in die kreisförmige Quecksilberrinne *a* eintauchen. Das Quecksilber dieser Rinne ist mit der Klemmschraube *c* leitend verbunden. Die Quecksilberrinne wird endlich mit einer flachen Magnetisirungsspirale *d d* umgeben, welche entweder durch mehrere über einander gewickelte Lagen von dickem Kupferdraht oder in der durch Fig. 434 Seite 480 erläuterten Weise durch einen Kupferblechstreifen gebildet ist. Die Enden dieser Spirale sind mit den Klemmschrauben *e* und *f* leitend verbunden.

Fig. 525.

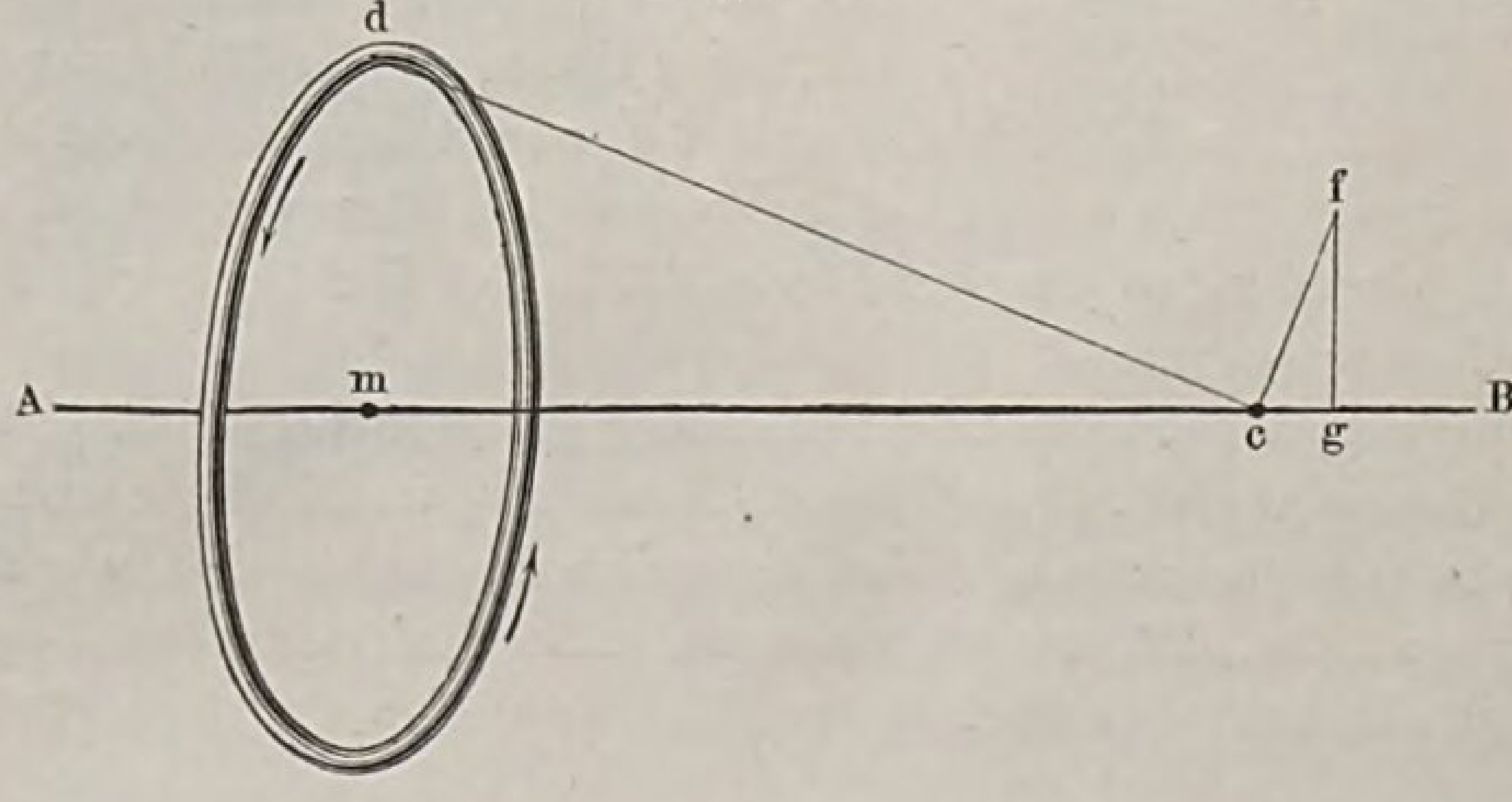


Um den Apparat in Gang zu setzen, kann man die beiden Poldrähte einer Säule bei *b* und *c*, die beiden Poldrähte einer zweiten Säule aber in *e* und *f* einschrauben, oder man kann die beiden Pole der Säule bei *b* und *e* einschrauben und dann die Klemmschrauben *c* und *f* durch einen Kupferdraht verbinden.

So wie man früher die elektrischen Anziehungen und Abstossungen zu einer Menge von elektrischen Spielereien benutzte, so hat man jetzt auch die elektromagnetischen Rotationsphänomene auf die mannigfaltigste Weise variirt. Es mag hier genügen, die Grundphänomene in den einfachsten Formen kennen gelernt zu haben.

170 **Magnetisches Moment eines Kreisstromes.** Fig. 526 stellt die perspectivische Ansicht eines kreisförmigen Stromes dar, dessen

Fig. 526.



Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, so also, dass die durch den Mittelpunkt des Kreisstromes rechtwinklig zu seiner Ebene gelegte Gerade AB auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht. Wir wollen nun die Wirkung untersuchen, welche der Kreisstrom auf irgend ein magnetisches Element ausübt, welches sich in einem Punkte der Linie AB, etwa in c, befindet.

Wenn der Kreisstrom in der durch die Pfeile bezeichneten Richtung circulirt, so hat ein elementares Theilchen des Stromes, etwa das Theilchen bei d, ein Bestreben, ein nordmagnetisches Element in c nach der Richtung cf zu bewegen; die Grösse dieser bewegenden Kraft lässt sich durch

$$\frac{KJ\mu\varphi}{l^2}$$

darstellen, wenn J die Stärke des Kreisstromes, μ die Intensität des Magnetismus im magnetischen Theilchen c, φ die Länge des elementaren Bogenstücks bei d, l die Entfernung ed und K einen constanten Factor bezeichnet, der alsbald näher bestimmt werden soll.

Setzen wir den Halbmesser des Kreises gleich r, die Entfernung $mc = x$, so ist $l^2 = x^2 + r^2$ und der obige Werth für die in der Richtung cf auf c wirkende Kraft wird

$$\frac{KJ\mu\varphi}{x^2 + r^2}.$$

Zerlegt man die Kraft cf nach der Richtung der Ringaxe und rechtwinklig auf dieselbe, so ist es leicht, den Werth der Componente cg zu bestimmen, denn es verhält sich $cf : cg = cd : dm$, oder $cf : cg = l : r$, mithin ist

$$cg = \frac{ef \, . \, r}{l} = \frac{cf \, . \, r}{\sqrt{x^2 + r^2}},$$

oder endlich

$$cg = \frac{KJ\mu\varphi r}{(x^2 + r^2)^{3/2}}.$$

Setzen wir nun in diesen Werth von cg für das Bogenelement φ den ganzen Umfang $2\pi r$ des Kreisstromes, so ergiebt sich als Resultat der Kräfte, mit welchen alle Elemente des Kreisstromes das Theilchen c in der Richtung der Axe zu bewegen suchen, die Kraft:

$$K \frac{2\pi r^2 \mu J}{(x^2 + r^2)^{3/2}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

Die Kräfte senkrecht gegen die Richtung der Axe AB heben sich auf.

Aus dieser Formel sehen wir:

1) dass die magnetische Wirkung eines Kreisstromes dem Quadrate seines Halbmessers oder was dasselbe ist, dem Flächeninhalt des umströmten Kreises proportional ist, und

2) dass die Wirkung eines Kreisstromes auf ein magnetisches Theilchen, welches auf seiner Axe liegt, sich umgekehrt verhält, wie die dritte Potenz der Entfernung $\sqrt{x^2 + r^2}$ des magnetischen Theilchens von der Peripherie des Kreisstromes, dass also die magnetische Wirkung eines Kreisstromes in die Ferne denselben Gesetzen folgt, wie die Totalwirkung eines Magnets.

Im §. 71 haben wir den Begriff des elektrischen Feldes eingeführt; in ganz analoger Weise spricht man auch von einem magnetischen Felde. Man versteht darunter einen Raum, welcher einer magnetischen Fernwirkung ausgesetzt ist, wobei diese Fernwirkung ebensowohl von einem Magnetpole, wie von einem Strom herrühren kann. Unter der Intensität des magnetischen Feldes an irgend einem Punkte versteht man die Kraft, womit daselbst ein Magnetstab vom Momente $\mu = 1$ angegriffen wird. Setzen wir also in 1) $\mu = 1$, so erhalten wir für die Intensität des magnetischen Feldes an einem Punkte auf der Axe mc, der um x von m entfernt liegt, den Ausdruck

$$F_x = K \frac{2\pi r^2 J}{(x^2 + r^2)^{3/2}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

Setzen wir nun $x = 0$, so erhalten wir die Intensität des magnetischen Feldes im Mittelpunkte m des Kreisstromes

$$F_0 = K \frac{2\pi J}{r} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Der Werth der Constanten K hängt von den Einheiten für J und F ab und wird, wie wir weiter unten hören werden, unter gewissen Umständen $= 1$.

171 **Strommessung nach absolutem elektromagnetischem Maasse; Weber's Stromeinheit.** Wir haben bisher die Stromstärke nach dem Jacobi'schen Maasse gemessen, nachdem wir dieselbe durch die Anzahl der Cubikcentimeter Knallgas ausdrückten, welche per Minute im Voltameter entwickelt werden. Dieses, sowie die übrigen gebräuchlichen chemischen Maasse sind rein willkürlich gewählt; ein directer Zusammenhang mit den Grundeinheiten der Länge, der Masse und der Zeit ist nicht vorhanden. Bei der Strommessung mittelst der Tangentenbussole, also durch die elektromagnetische Wirkung des Stromes, ist es wohl möglich, an ein und demselben Instrumente relative Bestimmungen verschiedener Stromstärken anzustellen, während die an verschiedenen Instrumenten und bei verschiedener Stärke des Erdmagnetismus ausgeführten Messungen nicht unmittelbar vergleichbar sind, wenn nicht der Reductionsfactor jedes Instrumentes auf Jocobi'sches Maass eigens bestimmt wurde.

W. Weber hat nun aber eine Stromeinheit vorgeschlagen, welche von den speciellen Dimensionen der Tangentenbussole und der Intensität

des Erdmagnetismus unabhängig und in systematischem Zusammenhange mit den Grundmaassen ist.

Es sei r der (mittlere) Halbmesser der Windungen der Tangentenbussole.
" " n die Anzahl der Windungen.
" " μ das magnetische Moment der (kurzen) Magnetnadel.
" " T die horizontale Intensität des Erdmagnetismus in absolutem Maasse (Seite 72).

Die Kraft, mit welcher ein Strom von der Stärke J auf einen Pol des Magnets vom Moment μ in der Richtung der Axe des Stromkreises wirkt, ist dann gemäss Formel 3) des vorigen Paragraphen gegeben durch

$$K \frac{2 \pi n \mu J}{r}.$$

Sobald nun die Magnetnadel abgelenkt wird, nimmt das Drehungsmoment ab, bis es jenem durch den Erdmagnetismus hervorgebrachten an Grösse gleich geworden ist. Angenommen, es sei die bleibende Ablenkung $= \alpha$, so ist das durch den Strom bewirkte Drehungsmoment

$$= \frac{K 2 \pi n \mu J}{r} \cos \alpha,$$

das durch den Erdmagnetismus bewirkte Drehungsmoment ist gegeben durch

$$T \mu \sin \alpha.$$

Durch Gleichsetzung der beiden Drehungsmomente erhalten wir

$$J = \frac{1}{K} \frac{r T}{2 \pi n} \operatorname{tang} \alpha.$$

W. Weber wählte nun die Stromeinheit so, dass $K = 1$ wird. Nach Weber's absolutem magnetischem Maasse gemessen, ist also

$$J = \frac{r T}{2 \pi n} \operatorname{tang} \alpha.$$

Den Coëfficienten $\frac{r T}{2 \pi n}$ nennt man den Reductionsfactor auf magnetisches Strommaass, während wir früher stets nur mit dem Reductionsfactor auf chemisches Maass zu thun hatten. Wäre beispielsweise an einer Tangentenbussole ein einziger Ring (also $n = 1$) von dem Halbmesser $r = 200$ mm vorhanden und die horizontale Intensität des Erdmagnetismus an dem Aufstellungsorte $T = 1{\cdot}9$, so erhielte man den Reductionsfactor auf magnetisches Maass:

$$\frac{r T}{2 \pi n} = \frac{200 \,.\, 1{\cdot}9}{2 \,.\, 3{\cdot}1416} = 60{\cdot}5,$$

also die Stromstärke

$$J = 60{\cdot}5 \operatorname{tang} \alpha;$$

die nach diesem Weber'schen Maasse gemessene Stromstärke hat einen

um nahe 5 Proc. kleineren Zahlenwerth als die nach Jacobi'schem Maasse gemessene.

W. Weber selbst fand, dass die Stromstärke 1 in chemischem Maasse gleich sei der Stromstärke 0·9534 in magnetischem Maasse. Nach der Tabelle in F. Kohlrausch's praktischer Physik wird jetzt angenommen

Stromstärke nach Jacobi'schem Maasse	Stromstärke nach Weber'schem Maasse
1	0·9484
1·054	1.

F. Kohlrausch macht darauf aufmerksam, dass man bei der Berechnung des Knallgasvolums nur statt auf den Normaldruck von 760 mm auf 800 mm zu reduciren braucht, um mit genügender Annäherung die Stromstärke statt in Jacobi'schem Maasse in Weber'schem Maasse zu erhalten.

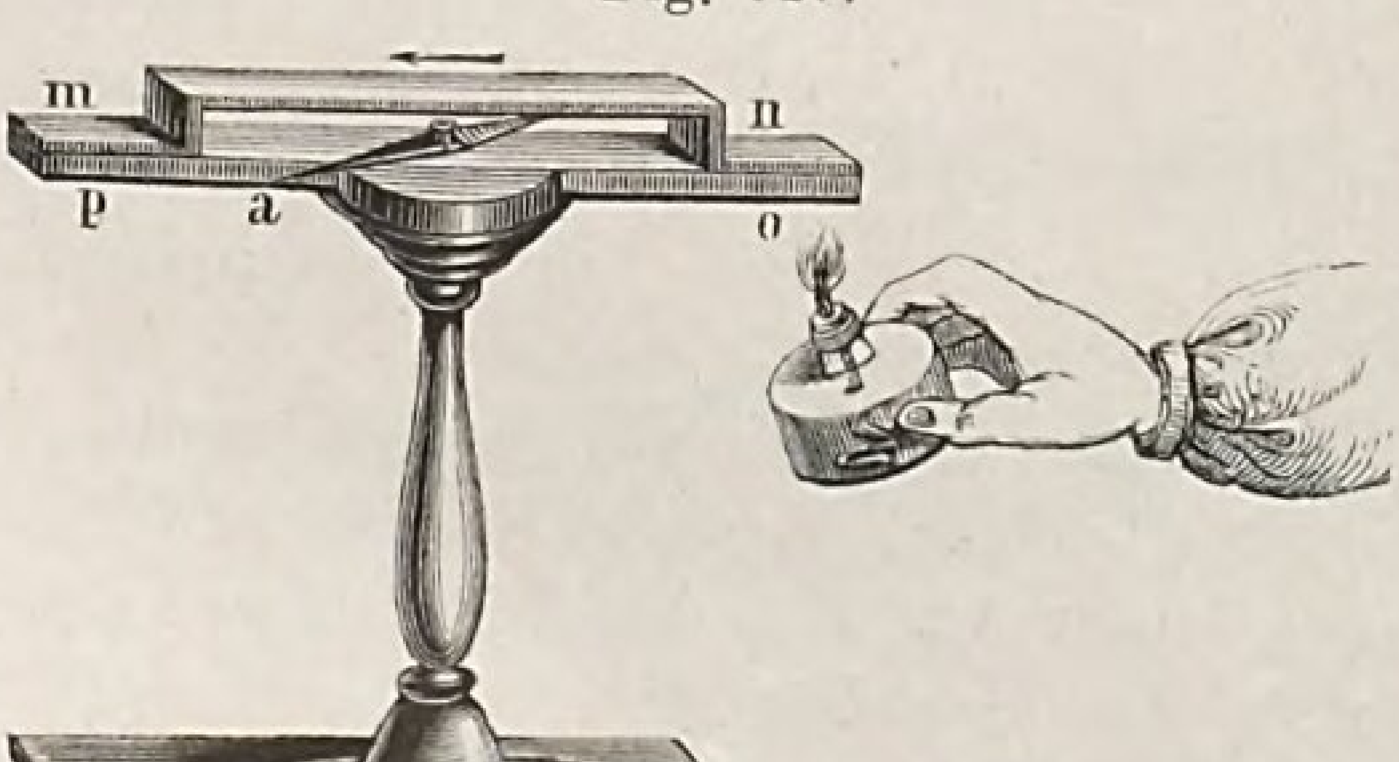
Wir erwähnen hier noch, dass manche Physiker statt Millimeter und Milligramm Centimeter und Gramm zu Grunde legen. In diesem Falle wird der Umrechnungsfactor für eine Stromstärke aus Jacobi'schem in magnetisches Maass = 0·00948.

Fünftes Capitel.

Thermo-Elektricität.

Thermo-elektrische Elemente. Wir haben oben im §. 80 und 85 erörtert, dass in einer in sich geschlossenen Kette von metallischen Leitern gleicher Temperatur kein Strom entstehen kann, weil sich die entgegengesetzten elektromotorischen Kräfte in ihrer stromerregenden Wirkung aufheben. Dies gilt bei ungleicher Temperatur der Metalle oder der Berührungspunkte nicht mehr. Im Jahre 1823 machte nämlich Seebeck die Entdeckung (Gilbert's Annal. LXXIII), dass in einem ganz metallischen Bogen, welcher aus einem auf einen Wismuthstab aufgelötheten Kupferbügel bestand, ein Strom entstand, sobald die eine der beiden Löthstellen eine höhere Temperatur hatte als die andere. Fig. 527 stellt einen Apparat dar, dessen man sich zur Wiederholung des Seebeck'schen Grundversuchs bedienen kann. *po* ist ein Stäbchen von Wismuth, *mn* ein Bügel von Kupfer, welcher mit seinen Enden auf das Wismuthstäbchen aufgelöthet ist; *a* ist eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel. Wenn die beiden Löthstellen noch die Temperatur der umgebenden Luft haben, wird der Apparat so gestellt, dass die Längsaxe von *po* in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, dass also die Nadel 172

Fig. 527.



mit der Axe und den Längenkanten des Wismuthstäbchens parallel steht; sobald nun eine der Löthstellen, etwa *o*, erwärmt wird, erleidet die Nadel eine mehr oder weniger bedeutende Ablenkung; erkaltet man aber dieselbe Löthstelle *o* unter die Temperatur der umgebenden Luft, so beobachtet man eine Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung.

Diese Ablenkungen der Nadel bald nach der einen, bald nach der andern Seite zeigen offenbar einen elektrischen Strom an, welcher den Apparat in einer bestimmten Richtung durchkreist, wenn die Löthstelle *o* wärmer ist als *p*; in der entgegengesetzten aber, wenn die Löthstelle *o* kälter ist als die Löthstelle *p*.

Im Allgemeinen wird in jedem aus zwei verschiedenen Metallen gebildeten Ringe ein Strom entstehen, wenn die eine Löth- (oder Berührungs)-stelle wärmer ist als die andere. Seebeck nannte die so entstandenen Ströme thermo-elektrische. Einen aus zwei Metallen, die an zwei Stellen zusammengelöthet oder auf andere Weise in metallische Berührung gebracht sind, gebildeten Bogen aber nannte er ein thermo-elektrisches Element.

Sehr kräftige thermo-elektrische Elemente werden aus Wismuth und Antimon gebildet, die man zu einem länglichen Rechteck zusammensetzt, wie Fig. 528 zeigt, in welcher die hellschraffirte Hälfte Wismuth, die andere Antimon bezeichnet. Die beiden Metalle sind bei *s* und *r* zusammengelöthet. Um den Versuch zu machen, erwärmt man vorsichtig die eine Löthstelle über einer Weingeistlampe und hält dann eine der längeren Seiten des Rechtecks gerade über die sich noch in ihrer Ruhelage befindliche Declinationsnadel. Man muss das Rechteck aus Wismuth und Antimon doch so gross machen, dass jede der längeren Seiten wenigstens die Länge der Magnetnadel hat.

Fig. 528.

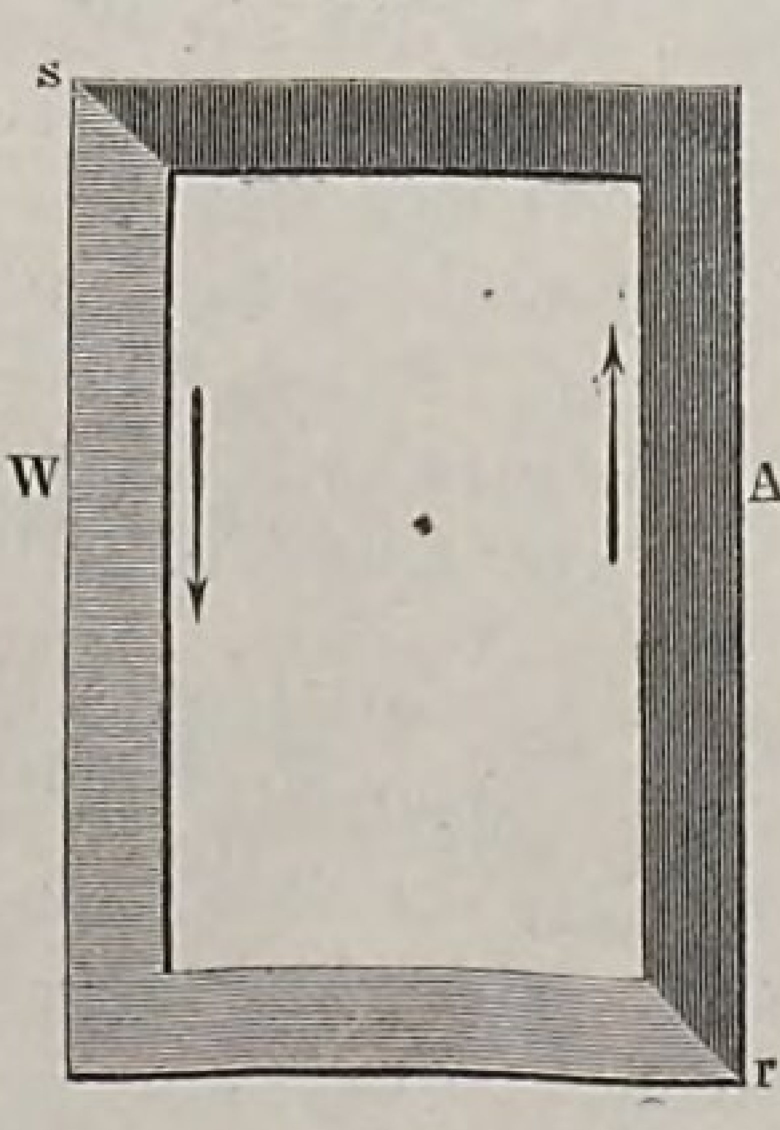
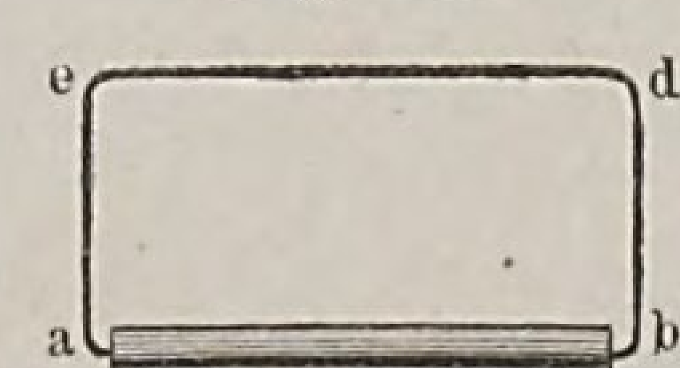


Fig. 529.

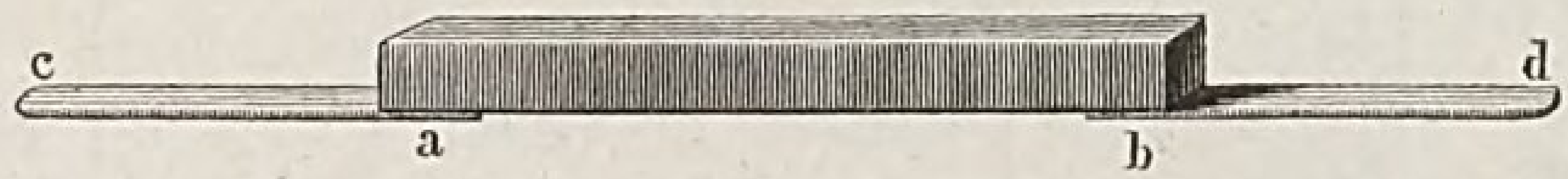


Häufig haben die einfachen thermo-elektrischen Elemente auch die Fig. 529 dargestellte Einrichtung. *ab* ist ein Stäbchen von Antimon oder Wismuth, an dessen beiden Enden ein Kupferdraht *aedb* angelöthet ist. Um den Versuch zu machen, wird die eine Löthstelle erwärmt und das Drahtstück *ed* über die Nadel gehalten.

Die bisher betrachteten thermo-elektrischen Elemente bilden an und für sich schon einen geschlossenen Leitungsbogen; man kann sie aber auch offen machen und die Schliessung der Kette durch einen Multiplicator bewerkstelligen.

Fig. 530 stellt ein offenes thermo-elektrisches Element dar. An die beiden Enden eines Wismuthstabes sind Streifen von Kupferblech angelöthet. Bringt man die Enden *c* und *d* mit den Drahtenden eines

Fig. 530.



Multiplicators in leitende Verbindung, so wird die Nadel desselben abgelenkt, wenn man eine der Löthstellen *a* oder *b* erwärmt.

Eine sehr zweckmässige Form hat Pouillet den offenen Thermo-Elementen gegeben, welche in Fig. 531 dargestellt ist.

Ein auf beiden Seiten mit einem kurzen verticalen Arm endigender Wismuthstab *a* wird von einem passenden Stativ getragen. An jedem Ende dieser vertical herabreichenden Wismutharme ist unten ein Kupferdraht angelöthet, und mittelst dieser beiden Kupferdrähte kann man einen Multiplicator in den Schliessungskreis des Thermo-Elementes einschalten. Wird nun die eine Löthstelle in ein Gefäss mit schmelzendem Schnee, die andere aber in ein Gefäss eingetaucht, in welchem Wasser durch eine untergesetzte Lampe im Kochen erhalten wird, so liefert ein solches Element Ströme von sehr constanter elektromotorischer Kraft.

Die Thermo-Elemente eignen sich vorzüglich, um die Temperatur verschiedener Körper zu bestimmen, da man ihnen bei sehr geringen

Fig. 531.

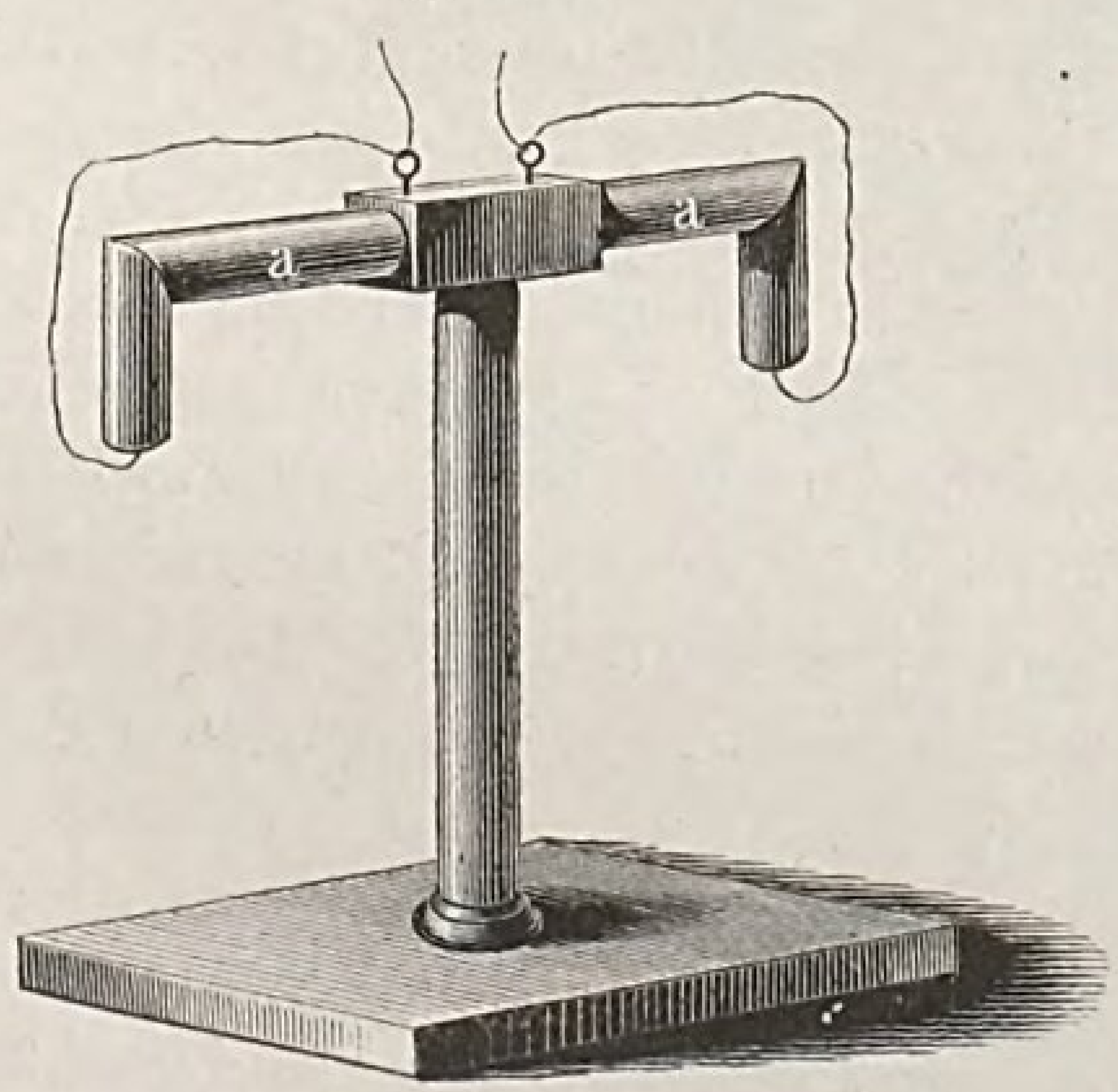
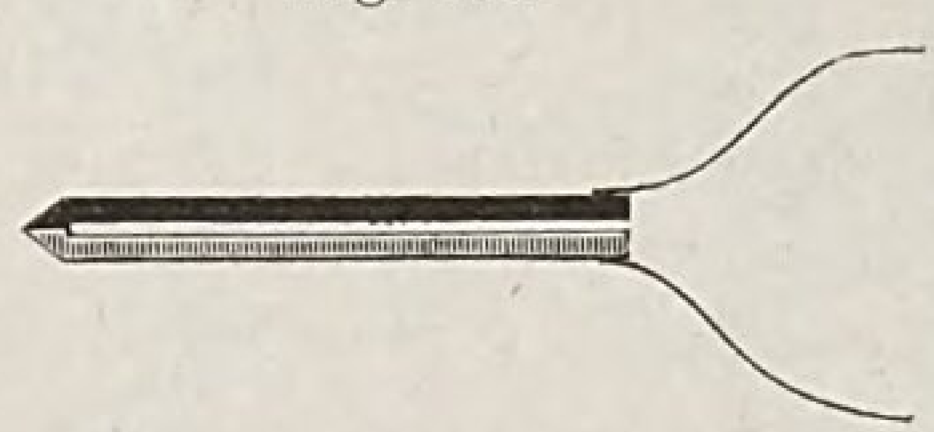


Fig. 532.



Dimensionen eine beliebige Form geben und sie so an die zu prüfenden Körper andrücken oder in dieselben einsenken kann, ohne ihnen eine merkliche Wärmemenge zu entziehen.

Ein derartiges aus einem Wismuth- und einem Antimonstäbchen gebildetes Thermo-Element ist in Fig. 532 dargestellt. Wegen der grossen Zerbrechlichkeit dieser Metalle construirt man aber solche Elemente besser aus Eisen und Platin, oder nach Poggendorff aus Eisen- und Neusilberdrähten, sei es in Form eines Drahtes, den man um die zu prüfenden Körper herumlegt oder durch ihn hindurchzieht, oder in Gestalt von Nadeln, die man in die zu untersuchenden Körper, z. B. thierische oder pflanzliche Gewebe, einsticht.

Fig. 533 stellt eine aus Eisen- und Neusilberdraht gebildete thermo-elektrische Nadel dar. Die Stelle, wo diese beiden Drähte *a* und *b* zusammengelöthet sind, ist zu einer Spitze *s* ausgearbeitet. Bis auf diese Löthstelle stecken die beiden, isolirt nebeneinander herlaufenden Drähte in einer Glasröhre; oben aber, wo die zum Multiplicator führenden Drähte *c* und *d* angelöthet sind, ist die Glasröhre noch mit einer Glaskugel umgeben, die mit Eiswasser gefüllt wird, um hier eine constante Temperatur zu erhalten.

Fig. 533.



Zur Beobachtung der durch ein derartiges Instrument erzeugten Ströme wendet man am besten ein Spiegelgalvanometer an. Hat man die Ablenkung beobachtet, welche entsteht, wenn die Spitze *s* in Wasser von bestimmter Temperatur eingesenkt wird, so kann man aus der für irgend einen anderen Fall beobachteten Ablenkung auf die Temperatur schliessen, welcher jetzt die Spitze *s* ausgesetzt ist, da man für nicht zu grosse Temperaturdifferenzen die beobachteten Ablenkungen als proportional dem Temperaturüberschuss von *s* über 0^0 annehmen kann.

173 **Die thermo-elektrische Spannungsreihe.** Um mit Hülfe eines Multiplicators die thermo-elektrischen Ströme zu untersuchen, welche irgend zwei Metalle mit einander geben, wie z. B. Eisen und Platin, reicht es hin, ein Stück Platindraht durchzuschneiden und jedes Stück an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes zu befestigen, so dass ein vollkommen metallischer Contact zwischen Platin und Kupfer besteht. Ist diese Einrichtung getroffen, so ist es gerade so gut, als ob der ganze Multiplicatordraht von Platin wäre, vorausgesetzt, dass die beiden Berührungsstellen zwischen dem Kupfer- und Platindraht ganz gleiche Temperatur haben; man braucht dann nur zwischen den beiden Platinenden ein Stück Eisendraht anzubringen und die eine Berührungsstelle zwischen Platin und Eisen zu erwärmen, während die andere kalt bleibt, so erhält man den thermo-elektrischen Strom, welcher von der Temperaturdifferenz der beiden Stellen herrührt, in welchen sich Platin und Eisen berühren.

Wenn man verschiedene Metalle diesem Versuche unterwirft, so findet man grosse Verschiedenheiten; denn während irgend zwei Metalle einen kräftigen Strom geben, geben zwei andere unter ganz gleichen Verhältnissen nur einen ausserordentlich schwachen Strom.

Die Untersuchungen, die man über das gegenseitige Verhalten verschiedener Metalle in Beziehung auf die Erregung thermo-elektrischer Ströme gemacht hat, haben gezeigt, dass sich die Metalle in eine Reihe zusammenstellen lassen, welche die Eigenschaft hat, dass, wenn man aus zwei Metallen dieser Reihe eine Kette bildet und an der einen Berührungsstelle erwärmt, an dieser erwärmten Löthstelle der posi-

tive Strom von dem in der Reihe tieferstehenden Metall zu dem höher stehenden übergeht. Diese Reihe ist (mit Auslassung der selteneren Metalle):

nach Seebeck	nach Becquerel	nach Hankel
+ Antimon	+ Antimon	+ Antimon
Eisen	Eisen	Eisen
Zink	Zink	Silber
Silber	Silber	Zink
Gold	Gold	Blei
Zinn	Kupfer	Zinn
Blei	Blei	Kupfer
Quecksilber	Platin	Gold
Kupfer	— Wismuth	Platin
Platin		Quecksilber
— Wismuth		— Wismuth

In dem Apparat Fig. 527 geht also, wenn die Löthstelle bei *o* erwärmt ist, der positive Strom in der Richtung von *o* durch den Kupferbügel nach *m* und dann durch den Wismuthstab nach *o* zurück; an der erwärmten Berührungsstelle *o* ist also das in der Reihe höher stehende Kupfer positiv gegen das tiefer stehende Wismuth. In dem Rechteck Fig. 528 circulirt der positive Strom in der Richtung der Pfeile, wenn die Löthstelle bei *r* wärmer ist.

Die drei oben mitgetheilten thermo-elektrischen Spannungsreihen zeigen mehrfache Abweichungen von einander. So steht z. B. das Kupfer in der Becquerel'schen Reihe höher, in den beiden anderen tiefer als Blei. Solche Abweichungen sind aber leicht begreiflich, wenn man bedenkt, dass die Stellung eines Metalls in der Reihe schon durch geringe Beimengungen anderer Stoffe bedeutend alterirt wird. So fand z. B. Seebeck eine Sorte käuflichen Kupfers zwischen Gold und Zinn stehend, während er für reines, aus Oxyd reducirtes Kupfer die oben angegebene Stellung gefunden hatte. Ausserdem ist, wie wir hören werden, die Temperatur von wesentlichem Einfluss.

Schon Seebeck hat gefunden, dass manche Legirungen in der thermo-elektrischen Spannungsreihe nicht zwischen den Metallen stehen, aus welchen sie zusammengesetzt sind. So fand er z. B. eine Legirung aus

3	Wismuth	und	1 Zinn	zwischen	Antimon	und	Eisen
3	„	„	1 Blei	„	Eisen	„	Zink
1	„	„	1 Zinn	„	Zink	„	Silber

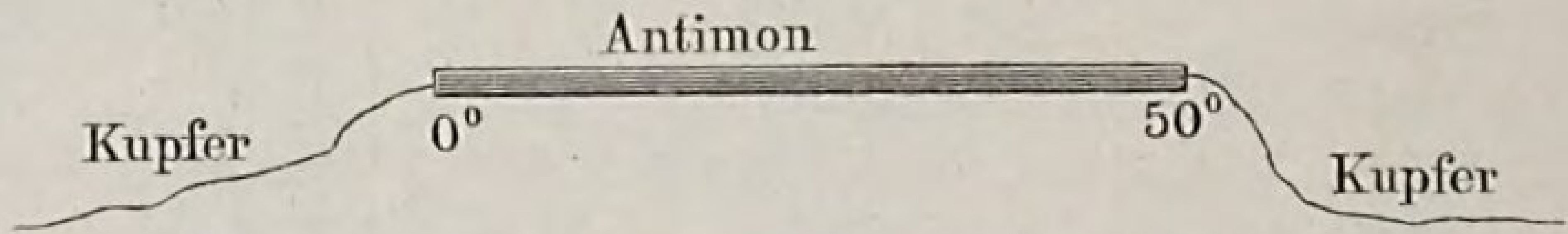
stehend.

Die thermo-elektrische Differenz zweier Metalle ist um so bedeutender, je weiter dieselben in der thermo-elektrischen Spannungsreihe aus

einander stehen. Bei gleicher Temperaturdifferenz der Löthstellen wird also ein thermo-elektrisches Element aus Antimon und Wismuth einen stärkeren Strom geben, als ein solches aus Antimon und Zinn, und dieses giebt wieder einen stärkeren Strom als ein aus Zink und Zinn gebildetes Thermo-Element.

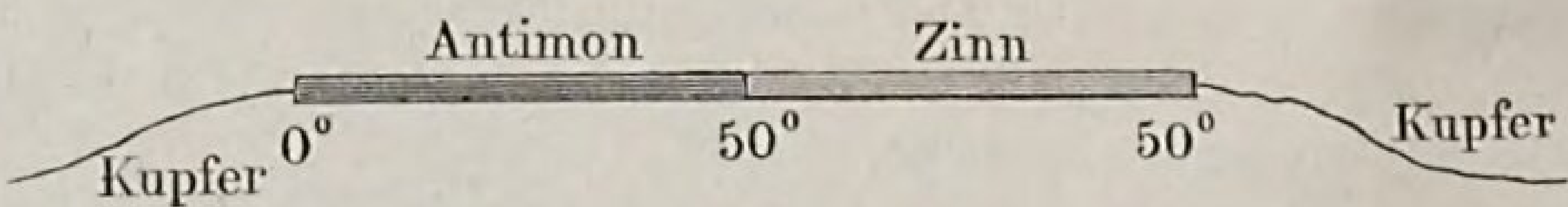
Löthet man an die beiden Enden eines Metallstabes, z. B. eines Antimonstabes, Fig. 534, zwei Kupferdrähte, welche zu den beiden

Fig. 534.



Drahtenden eines Multiplicators führen, so wird man einen bestimmten Ausschlag erhalten, wenn man die eine Löthstelle auf 0° erkaltet, die andere etwa auf 50° erwärmt. Denselben Ausschlag erhält man aber auch, wenn man an den Antimonstab zunächst einen Zinnstab, Fig. 535, und an diesen erst den zweiten Kupferdraht anlöthet und nun die Löthstelle Kupfer-Antimon wieder auf 0° erkaltet, die beiden anderen Löthstellen (Antimon-Zinn, Zinn-Kupfer) aber beide auf 50° erwärmt, voraus-

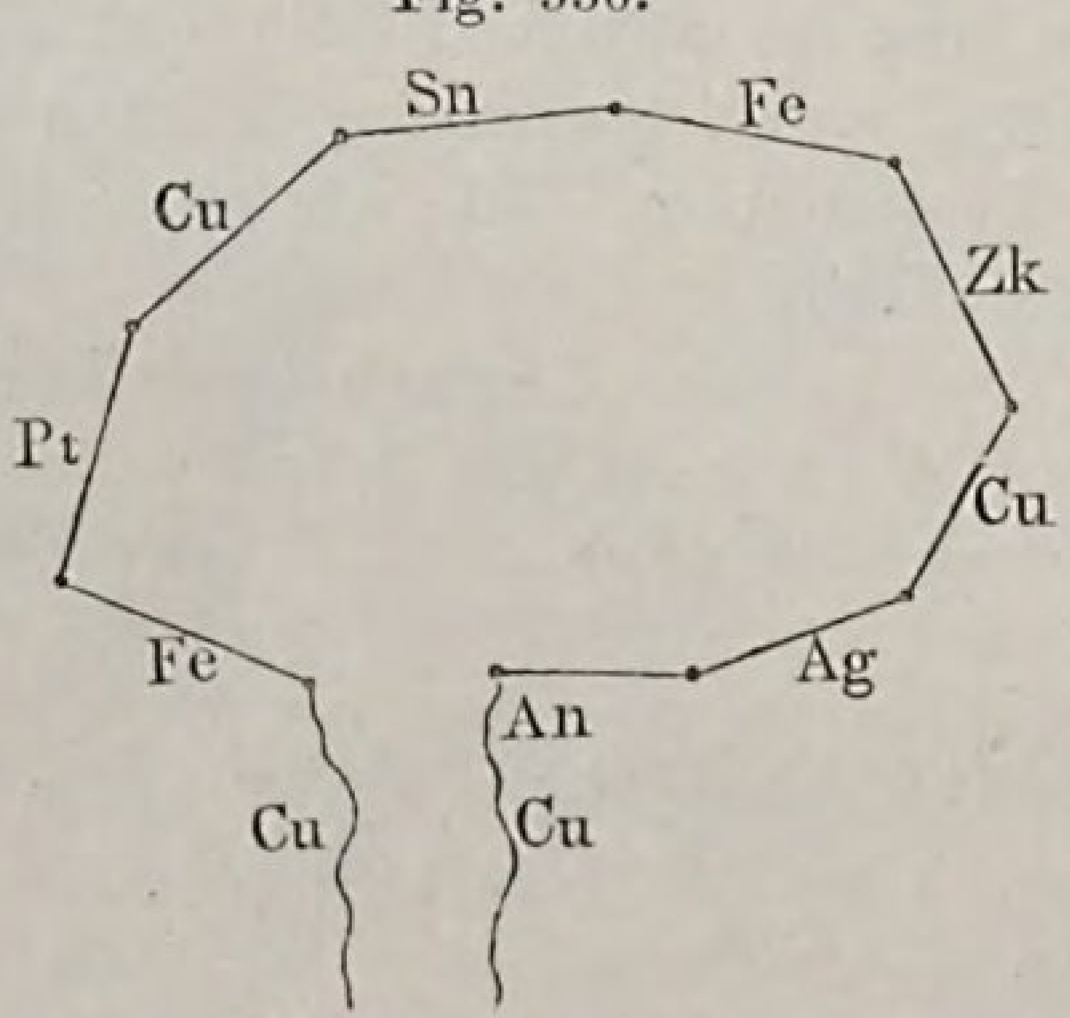
Fig. 535.



gesetzt, dass der Leitungswiderstand der ganzen Kette durch die Einschaltung des Zinnstabes nicht merklich verändert worden ist.

Daraus folgt denn, dass, wenn man zwischen die beiden Drahtenden eines Galvanometers eine ganze Reihe von aneinander gelötheten Metalldrähten einschaltet, wie es Fig. 536 andeutet, und alle Löthstellen **bis auf eine**, die auf t^0 erwärmt ist, auf 0° erkaltet, dass man alsdann denselben Ausschlag erhalten wird, als ob der ganze Schliessungsbogen bei unverändertem Widerstande nur aus den beiden Metallen gebildet wäre, die sich an der auf t^0 erwärmten Löthstelle berühren. Ist z. B. die Löthstelle zwischen Zinn und Eisen auf t^0 erwärmt, während alle anderen Löthstellen auf 0° erkaltet sind, so erreicht der thermo-elektrische Strom dieselbe Stärke, als ob (bei unverändertem Leitungswiderstande) der ganze Schliessungsbogen nur aus Eisen und

Fig. 536.



Zinn zusammengesetzt, und die eine Löthstelle auf t^0 erwärmt, die andere auf 0^0 erkaltet wäre.

Becquerel führte den Versuch in der Fig. 536 angedeuteten Weise aus. Während alle übrigen Löthstellen auf 0^0 erkaltet waren und nur eine auf 20^0 erwärmt wurde, war die am Galvanometer abgelesene Stromstärke

31·24	wenn die Löthstelle	Eisen-Zinn		
8·55	„ „ „	Kupfer-Platin		
27·96	„ „ „	Eisen-Kupfer		
2·00	„ „ „	Silber-Kupfer		
26·20	„ „ „	Eisen-Silber		erwärmt war.
36·07	„ „ „	Eisen-Platin		
3·50	„ „ „	Kupfer-Zinn		
1·00	„ „ „	Zink-Kupfer		
0·50	„ „ „	Silber-Gold		

Es ist also für eine Temperaturdifferenz von 20^0 die elektromotorische Kraft der Combination

Eisen-Kupfer	27·96
Kupfer-Platin	8·55
die Summe beider	36·51

also sehr nahe gleich der für die Combination Eisen-Platin gefundenen elektromotorischen Kraft 36·07.

Es ist die elektromotorische Kraft

Eisen-Kupfer	27·96
Kupfer-Zinn	3·50
die Summe beider	31·46

sehr nahe gleich der elektromotorischen Kraft Eisen-Zinn, welche nach obiger Tabelle gleich 31·24 ist. Ferner haben wir für

Eisen-Silber	26·2
Silber-Kupfer	2·0
deren Summe	28·2

sehr nahe gleich der elektromotorischen Kraft 27·96 der Combination Eisen-Kupfer etc.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, dass die Summe der elektromotorischen Kräfte zweier Thermo-Elemente, von denen das eine gebildet ist aus einem Metalle b und einem in der Thermoreihe über ihm stehenden Metalle a, das andere aber aus dem Metalle b und einem in der Thermoreihe unter ihm stehenden gleich ist der elektromotorischen Kraft eines aus a und c gebildeten Thermo-Elementes.

Auch Matthiessen (Poggendorff's Annal. CIII) hat die elektromotorischen Kräfte einer grossen Reihe von Thermo-Elementen und zwar für geringere Temperaturdifferenzen bestimmt. Die thermo-elektro-

motorische Kraft zwischen chemisch reinem Silber und käuflichem weichem Kupferdraht gleich 1 gesetzt, ist die elektromotorische Kraft des Thermo-Elementes

Silber-Wismuth, rein, gepresster Draht	+	32·9
„ „ „ gegossen	+	24·9
„ Argentan, hart	+	5·2
„ Quecksilber	+	2·5
„ Blei	+	1·0
„ Platin, käuflicher Draht	+	0·723
„ Kupfer, galvanoplastisch	+	0·244
„ Antimon, käuflicher Draht	—	1·89
„ Antimon, rein, gegossen	—	9·87
„ Legirung, 12 Wismuth 1 Zinn	—	13·67
„ „ 2 Antimon 1 Zink	—	22·7
„ Tellur	—	179
„ Selen	—	290

Es ist dies nur ein Auszug aus der vollständigen Tabelle Matthiessen's. Das Zeichen + besagt, dass sich Silber gegen das fragliche Metall positiv, das Zeichen — aber, dass sich Silber negativ gegen dasselbe verhält.

Sehr auffallend ist die extreme Stellung, welche Tellur und Selen einnehmen.

Die elektromotorische Kraft thermo-elektrischer Elemente ist sehr klein im Vergleich zu derjenigen der hydro-elektrischen Elemente. Die erste derartige Vergleichung hat Pouillet angestellt; er fand die elektromotorische Kraft eines Wismuth-Kupfer-Elementes für eine Temperaturdifferenz der Löthstellen von 50⁰ gleich 0·053 von der eines Wollaston'schen Bechers. Die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Bechers gleich 1 gesetzt, ist die elektromotorische Kraft eines Wismuth-Kupfer-Elementes für eine Temperaturdifferenz von 100⁰ nach den Messungen von

Wheatstone	0·0084
Neumann	0·0039.

Zur Vergleichung thermo-elektrischer Elemente mit hydro-elektrischen sind unter den in den §§. 110 und 111 besprochenen Methoden die Compensationsmethode und die Fechner'sche Methode grosser Widerstände die zweckmässigsten.

Mehrere Physiker haben die Beobachtung gemacht, dass verschiedene in der Natur vorkommende Schwefelmetalle mit Kupfer oder auch unter einander combinirt thermo-elektrische Elemente von grosser elektromotorischer Kraft liefern. So fand z. B. Bunsen, dass Kupferkies und Kupfer ein Thermo-Element liefern, dessen elektromotorische Kraft für eine Temperaturdifferenz von 100⁰ gleich $^1/_{15}$, für eine Temperaturdifferenz von 150⁰ aber $^1/_{10}$ von der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Bechers ist.

Stefan fand (Poggendorff's Annal. CXXIV), dass unter den sogleich näher anzugebenden Umständen die elektromotorische Kraft eines Thermo-Elementes aus

Blätterigem Kupferkies und Kupfer	gleich ist $^1/_{26}$	von der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Bechers.
Compactem Kupferkies-Kupfer	„ „ $^1/_9$	
Comp. Kupferkies-Blättr. Kupferkies	„ „ $^1/_{14}$	
Kupfer-Krystallisirter Kobaltkies	„ „ $^1/_{26}$	
Körniger Kobaltkies-Kupfer . . .	„ „ $^1/_{78}$	
Kupfer-Schwefelkies	„ „ $^1/_{16}$	
Compact. Kupferkies-Schwefelkies .	„ „ $^1/_6$	
Bleiglanz in gross. Kryst.-Kupfer .	„ „ $^1/_{10}$	

etc.

In dieser Tabelle ist stets der elektropositive Körper vorangestellt.

Diese Resultate zeigen, welch bedeutenden Einfluss die Structur eines Körpers auf sein thermo-elektrisches Verhalten hat. Während sich z. B. krystallisirter Kobaltkies gegen Kupfer stark negativ verhält, ist amorpher Kobaltkies schwach positiv gegen Kupfer.

Natürlicher Kupferkies lässt sich in starker Rothglühhitze ohne merkliche Zersetzung schmelzen und in beliebige Formen giessen. Solch umgegossener Kupferkies zeigt aber, wie Bunsen fand, in thermo-elektrischer Beziehung ein ganz anderes Verhalten als der natürliche krystallisirte, er sinkt nämlich in der Thermoreihe noch unter Wismuth herab, so dass er negativ gegen Kupfer wird.

Das Verfahren, dessen sich Stefan zur Ermittelung obiger Zahlenwerthe bediente, war folgendes: Das zu untersuchende Mineral wurde auf das Ende eines Kupferstreifens, auf das Mineral das Ende eines Drahtes gelegt, und das Ganze durch eine Zwinge zusammengedrückt. Dieser Draht und ein von dem freien Ende des Kupferstreifens ausgehender führen zu einem Galvanometer mit grossem Widerstande. Der Kupferstreifen wird durch eine Weingeistlampe erwärmt.

Um zwei beliebige Mineralien zu einem Thermo-Element zu verbinden, wurde ein Kupferstreifen zwischen beide gebracht, an ihre abgewendeten Seiten Drähte angelegt und das Ganze mit einer Holzzwinge zusammengedrückt. Der freie Fortsatz des Kupferstreifens wurde in die Flamme gebracht, diente also nur als Zuleiter der Wärme zur Berührungsstelle.

Einfluss der Temperatur. Die elektromotorische Kraft eines 174
Thermoelementes ist nicht allein von der Temperaturdifferenz der Löthstellen, sondern auch von der absoluten Höhe ihrer Temperatur abhängig. Die Untersuchungen von Thomson und von Avenarius haben dabei Folgendes ergeben. Es giebt für jede Combination zweier Metalle eine gewisse Temperatur, welche die Neutraltemperatur genannt wird. So oft nun das arithmetische Mittel der Tempe-

raturen der Löthstellen gleich dieser Neutraltemperatur ist, entsteht kein Strom. So z. B. ist für Silber und Eisen die Neutraltemperatur $= 228 \cdot 5$, die Beobachtung ergab, dass kein Strom entsteht, wenn die Temperaturen der Löthstellen t_1 und t_2 folgende Werthe hatten:

t_1	t_2	$\frac{t_1 + t_2}{2}$
186	260	223
158	289	223·5
145	302	223·5
136	312	224
118	328	223

Liegt die Mitteltemperatur $\frac{t_1 + t_2}{2}$ einmal oberhalb, ein anderes Mal unterhalb der Neutraltemperatur, so hat der Strom in den beiden Fällen eine entgegengesetzte Richtung. Daraus folgt, dass die elektromotorische Kraft durch Steigerung der höheren Temperatur der einen Löthstelle oder durch Verminderung der niedrigeren Temperatur der anderen Stelle nicht immer verstärkt werden muss, sondern dass sie auch ein Maximum erreichen und überschreiten kann.

Diese Verhältnisse hat man dadurch zu erklären versucht, dass man annahm, die elektromotorische Kraft der Thermo-Elektricität sei identisch mit jener der Contactelektricität und erlange nur bei verschiedener Temperatur einen verschieden grossen Werth. Nach dieser Theorie gäbe es für jedes Metallpaar eine bestimmte Temperatur, die Neutraltemperatur, bei welcher durch Contact gar keine elektromotorische Kraft entsteht. Für jede andere Temperatur t ist dann die elektromotorische Kraft im Allgemeinen gegeben durch eine Gleichung von der Form:

$$e = \alpha + \beta t + \gamma t^2.$$

Wird nun aus diesem Metallpaar eine Kette gebildet, und hat dieselbe an den beiden Berührungspunkten dieselbe Temperatur, so entsteht natürlich kein Strom. Sind die Temperaturen aber verschieden, nämlich t_1 und t_2, so entstehen zwei elektromotorische Kräfte e_1 und e_2, deren Differenz

$$\begin{aligned} E = e_2 - e_1 &= \beta\,(t_2 - t_1) + \gamma\,(t_2^2 - t_1^2) \\ &= (t_2 - t_1)\,[\beta + \gamma\,(t_2 + t_1)] \quad \text{. 1)} \end{aligned}$$

die resultirende elektromotorische Kraft des Elementes abgiebt. Man ersieht aus der Form des Productes, dass $E = 0$ wird, nicht bloss, wenn

$$t_1 = t_2,$$

sondern auch dann, wenn

$$\beta = -\gamma\,(t_1 + t_2)$$

oder

$$\frac{-\beta}{2\gamma} = \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

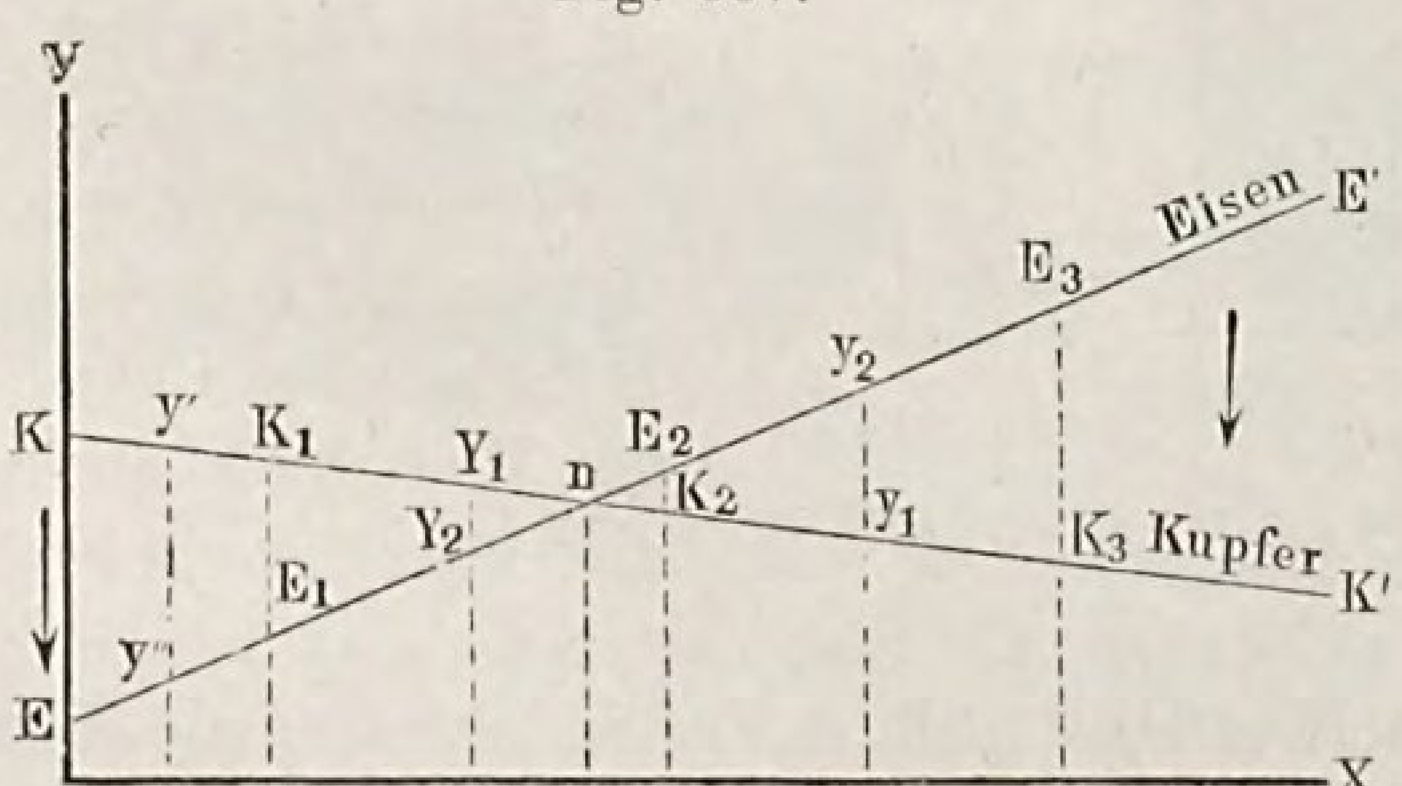
Der Ausdruck $\frac{-\beta}{2\gamma}$ giebt also diejenige Mitteltemperatur der Löthstellen, für welche der Strom jedesmal $= 0$ ist, das ist also die Neutraltemperatur. Innerhalb gewisser Gränzen, welche für verschiedene Combinationen verschieden weit sind, ist die elektromotorische Kraft für dieselbe Mitteltemperatur der Temperaturdifferenz der Löthstellen proportional. Insofern der Widerstand derselbe bleibt, ist also auch die Stromstärke dieser Temperaturdifferenz proportional. Für Kupfer und Eisen fand Avenarius unter Zugrundelegung einer willkürlichen Stromeinheit folgende Gleichung:

$$J = (t_2 - t_1)\,[0{\cdot}9653 - 0{\cdot}00175\,(t_2 + t_1)],$$

woraus folgt, dass für $J = 0$ $\frac{t_2 + t_1}{2} = 275{\cdot}8^0$ ist. $275{\cdot}8^0$ ist also die Neutraltemperatur; liegt die Mitteltemperatur unterhalb derselben, so geht der Strom vom Kupfer durch die wärmere Löthstelle zum Eisen, liegt die Mitteltemperatur oberhalb $275{\cdot}8^0$, so geht der Strom vom Eisen durch die wärmere Löthstelle zum Kupfer. Kupfer ist also im ersten Falle thermo-elektrisch negativ gegen Eisen, im zweiten Falle positiv. Haben beide Löthstellen die Temperatur $275{\cdot}8^0$ oder liegen ihre Temperaturen gleich weit oberhalb und unterhalb von $275{\cdot}8^0$, so ist das Element Kupfer-Eisen neutral oder wirkungslos.

Unter „Thermo-elektrischer Kraft eines Elementes für eine Mitteltemperatur t“ versteht man die elektromotorische Kraft desselben, für den Fall, dass die Temperaturdifferenz $= 1$ und das arithmetische Mittel der Temperatur $= t$ ist, d. h. also, wenn $t_1 = t - \frac{1}{2}$, $t_2 = t + \frac{1}{2}$ ist. Um die Grösse der thermo-elektrischen Kraft, sowie die elektromotorische Kraft für beliebige Temperaturdifferenzen aufzufinden oder darzustellen, kann man sich einer graphischen Construction bedienen, durch welche diese Beziehungen grössere Klarheit gewinnen. An einem rechtwinkligen Coordinatensystem, Fig. 537, sind zwei Curven (in diesem Falle gerade Linien) EE' und KK' aufgetragen. An der Abscisse sind Temperaturen angeschrieben, welche als die Mitteltemperaturen der beiden Löthstellen des Thermo-Elementes Kupfer-Eisen zu betrachten sind. Die Differenzen der zugehörigen Ordinaten beider Curven stellen dann in irgend einem willkürlichen Maasse gemessen, die thermo-elektrische Kraft der Combination für die entsprechende Mittel-

Fig. 537.



temperatur vor. Der Abscissenpunkt N entspricht der Neutraltemperatur, für diesen ist daher die Ordinatendifferenz gleich Null, d. h. die Curven schneiden sich in n. Haben die beiden Löthstellen beispielsweise die Temperaturen 0 und 100, so ist die Mitteltemperatur = 50 und die Ordinatendifferenz $y' y''$ stellt die thermo-elektrische Kraft vor. Dabei geht der Strom vom Kupfer zum Eisen, was durch den Pfeil (am linksseitigen Rande) angedeutet ist. Wären die beiden Temperaturen der Löthstellen $= 300^0$ und 500^0, so wäre 400^0 die Mitteltemperatur und die Ordinatendifferenz $y_2\, y_1$ würde die Grösse der thermo-elektrischen Kraft repräsentiren. Diesmal geht der Strom vom Eisen zum Kupfer, was also wiederum durch dieselbe Pfeilrichtung (am rechtsseitigen Rande) angedeutet wird. Wäre endlich die Temperatur der einen Löthstelle $= 100^0$, die der anderen $= 300^0$, so läge die Neutraltemperatur $N = 276^0$ zwischen beiden. Die Mitteltemperatur wäre $= 200$, die thermo-elektrische Kraft ausgedrückt durch $Y_1\, Y_2$. Der Strom ginge vom Kupfer zum Eisen.

Sind die beiden Curven nicht geradlinig, so lässt sich die gegebene Regel in folgender Weise verallgemeinern. Es sei wiederum beispielsweise $t_1 = 300$, $t_2 = 500$. Man construirt die Ordinatenabschnitte $E_2\, K_2$ und $E_3\, K_3$, welche diesen Temperaturen der Löthstellen entsprechen. Dadurch entsteht ein Flächenstück $E_2\, E_3\, K_3\, K_2$. Bestimmt man dessen Flächeninhalt und dividirt dasselbe durch das Abscissenstück $t_2 - t_1$, so erhält man den Mittelwerth aller Ordinatendifferenzen zwischen $E_2\, K_2$ und $E_3\, K_3$ und dieser Mittelwerth giebt die Grösse der thermo-elektrischen Kraft in diesem Falle. Der Flächeninhalt selbst giebt offenbar die Grösse der ganzen elektromotorischen Kraft für die Temperaturdifferenz $t_2 - t_1$. Würde $t_1 = 100$, $t_2 = 300$ sein, so würde diese Fläche in diesem Falle durch die Differenz der Inhalte der beiden Dreiecke $K_1\, E_1\, n$ und $K_2\, E_2\, n$ gegeben sein. Man überzeugt sich leicht, dass für den Fall geradliniger thermo-elektrischer Curven diese allgemeinere Regel in die obere specielle übergeht.

Fig. 538.

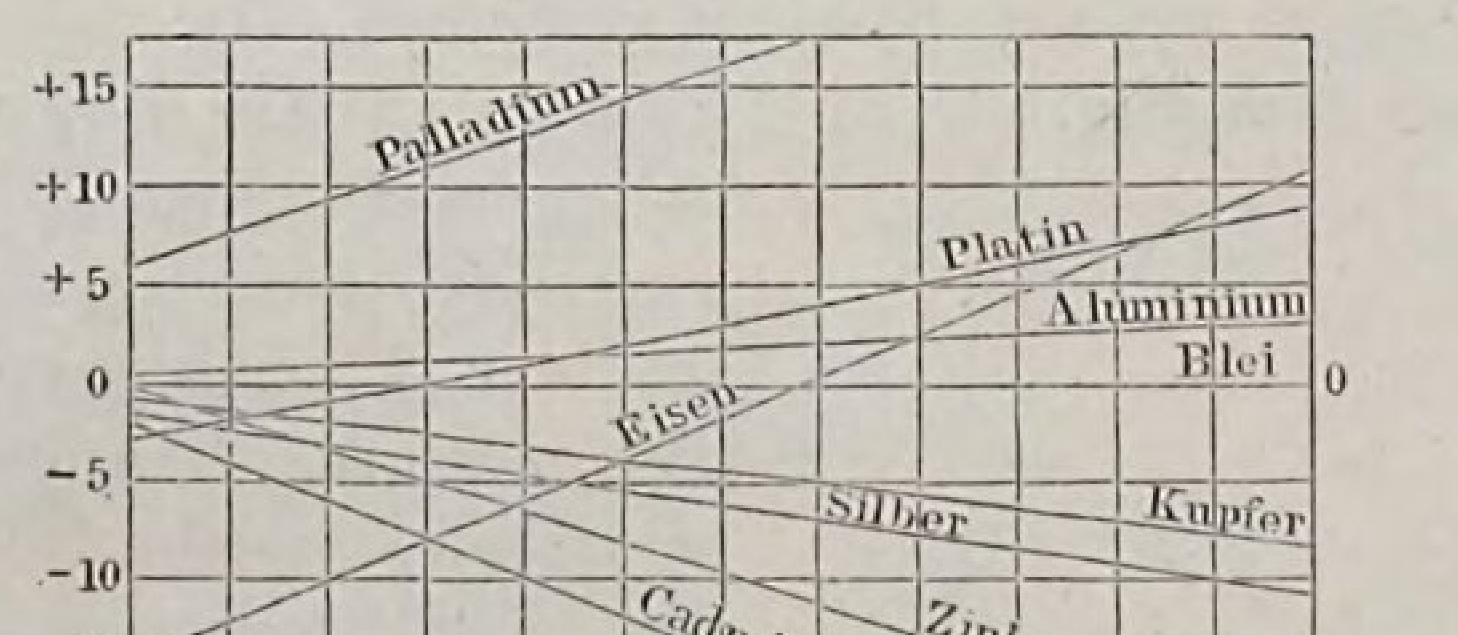


Fig. 538 zeigt ein System mehrerer solcher thermo-elektrischer Curven für verschiedene Metalle. Die Curve für das Blei dient als Abscissenaxe.

175 **Ströme in einem Metallstück.** Verbindet man die Drahtenden eines Thermomultiplicators durch einen scheinbar ganz homogenen Metalldraht, so beobachtet man manchmal thermo-elektrische Ströme, wenn man diesen Verbindungsdraht an irgend einer Stelle erwärmt. Es ist dies offenbar die Folge von irgend einer Ungleichförmigkeit im

Draht. Eine solche Ungleichförmigkeit wird z. B. schon dadurch hervorgebracht, dass man an irgend einer Stelle des Drahtes einen Knoten macht, wie Fig. 539 andeutet. Erwärmt man dann den Draht in der Nähe dieses Knotens, so entsteht alsbald ein Strom, welcher nach Becquerel's Beobachtung in einem Platindraht in der Richtung von der erwärmten Stelle zum Knoten geht, während Nobili mit leichter oxydirbaren Metallen, wie Zink und Eisen, Ströme in entgegengesetzter Richtung erhielt.

Die Thermoströme zwischen gedehnten und ungedehnten Stücken desselben Drahtes wurden von W. Thomson, Le Roux und zuletzt von E. Cohn untersucht. Der letztere Physiker fand, dass die Stromstärke nicht nur von der gegenwärtigen Spannung der Drahtstücke, sondern von den oberen und unteren Gränzen, zwischen denen seit der letzten völligen Entspannung die Spannungen variirt haben, abhängt. In einem Thermo-Element aus zwei gleichen gleichgespannten Drähten, deren einer a zuletzt vorher ein grösseres, deren anderer b ein kleineres Gewicht getragen hat, geht der Strom immer von b nach a. Bei Eisen und Stahl können die vorangegangenen Spannungen selbst den Sinn beeinflussen, indem sich der Thermostrom bei zu- oder abnehmender Spannung ändert, wodurch sich frühere widersprechende Versuchsresultate von Thomson und Le Roux erklären. Als Gesammtergebniss seiner Untersuchungen kam E. Cohn zu dem Schlusse: „Ein gespannter Draht verhält sich — ceteris paribus — verschieden, je nachdem er vorher schwächer oder stärker gespannt war und diese Verschiedenheit dauert bis zur nächsten Aenderung der Spannung.“

Magnus machte die Hälfte eines durch wiederholtes Ziehen gehärteten Messingdrahtes durch Ausglühen weich und verband dann seine

Fig. 539.

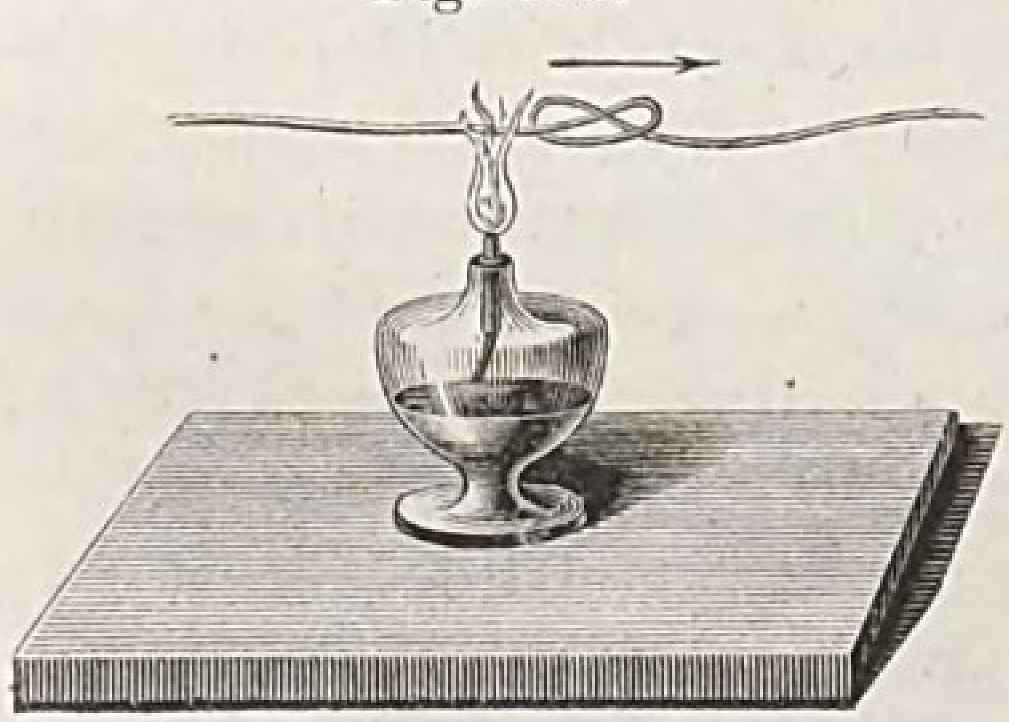
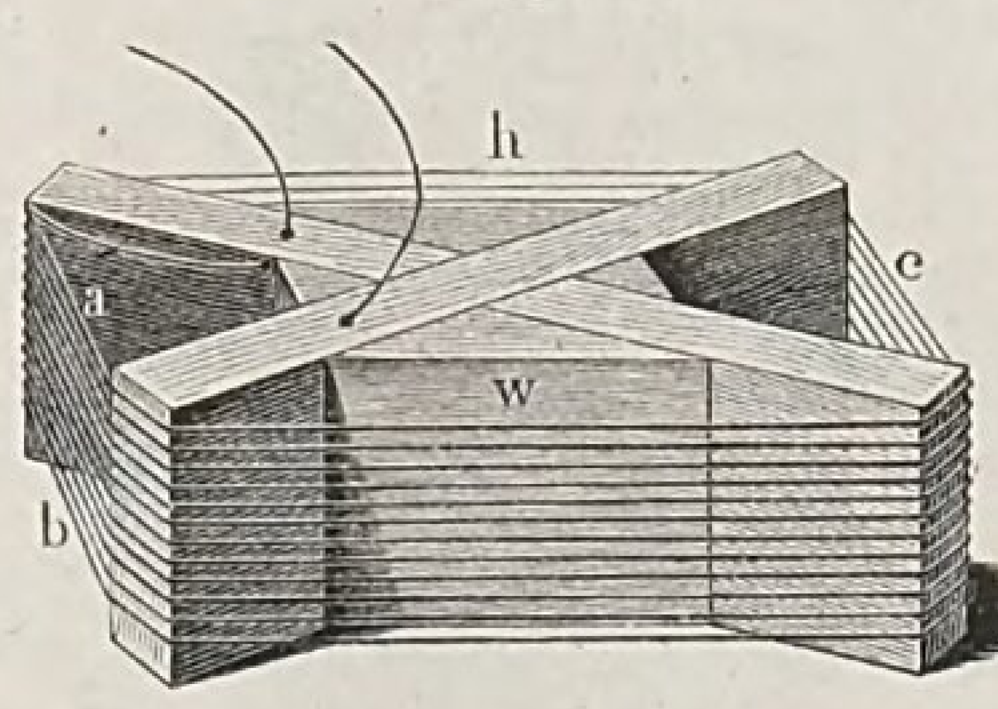


Fig. 540.



beiden Enden mit den Enden des Galvanometerdrahtes. Beim Erwärmen der Stelle, wo der weiche und der harte Theil des Drahtes an einander stossen, erhält man einen Strom, welcher an dieser Stelle vom weichen zum harten Drahtstück geht.

Man kann die Intensität dieses Stromes sehr verstärken, wenn man gleich lange Stücke eines längeren Drahtes abwechselnd ausglüht und hart lässt, und ihn dann auf einen Holzrahmen, Fig. 540, so aufwindet,

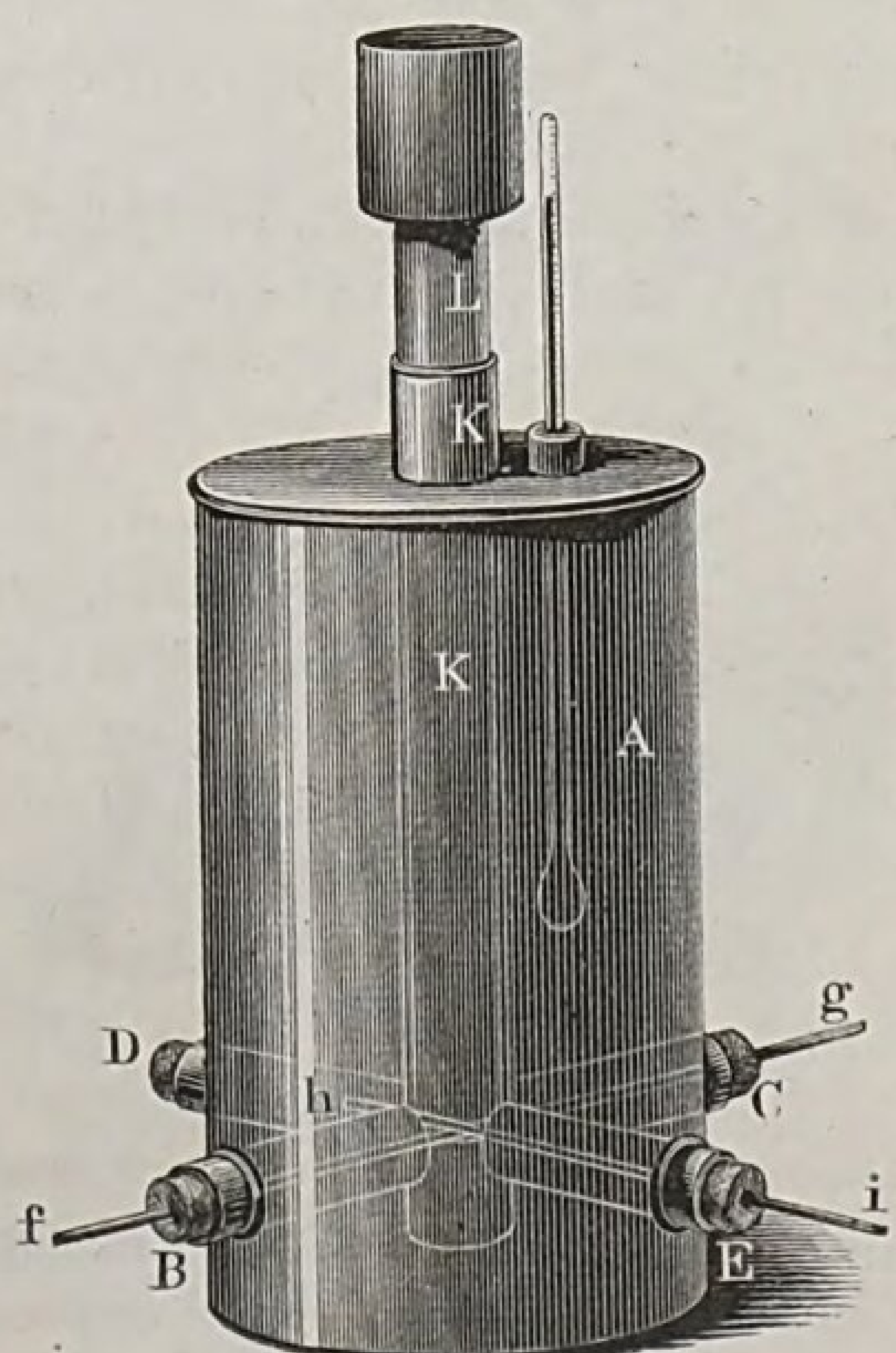
dass die harten Drahtstücken sämmtlich auf die eine Seite h, die weichen alle auf die entgegengesetzte Seite w fallen, während die Gränzen der harten und weichen Theile in den Linien ab und cd liegen (d vertical unter c, in der Figur nicht sichtbar). Verbindet man die Enden dieses Drahtes mit den Enden des Galvanometerdrahtes, so erhält man relativ starke Ströme, wenn man entweder in ab oder in cd erwärmt.

An der erwärmten Stelle geht der positive Strom vom weichen zum harten Theil bei Messing, Silber, Stahl, Kupfer, Platin; vom harten zum weichen aber bei Neusilber, Zinn, Zink und Eisen.

176 **Kalte und warme Drähte.** Wenn man zwei Stücke des nämlichen Metalls, von denen das eine kalt, das andere warm ist, mit einander in Berührung bringt, so entwickeln sie Ströme, welche von dem Temperaturunterschiede abhängig sind und mit ihm verschwinden. — Verbindet man z. B. nach Becquerel zwei ganz gleiche Drähte von Platin mit den Leitungsdrähten des Galvanometers, so zeigt dieses einen Strom an, wenn man den einen Draht erwärmt und ihn dann mit dem kalten in Berührung bringt, und zwar geht der positive Strom an der Berührungsstelle vom warmen zum kalten Draht.

Magnus wandte zur Untersuchung dieser Ströme den in Fig. 541 abgebildeten Apparat an. In einen Blechcylinder A waren unten zwei sich rechtwinklig kreuzende Blechröhren BC und DE eingesetzt, in welche von oben die senkrechte Röhre K einmündete. Durch das Rohr BC war ein Draht fg gesteckt, dessen eines Ende mit dem einen Ende des Galvanometerdrahtes verbunden war. Das Gefäss A wurde nun mit kochendem Wasser gefüllt und, nachdem der Draht fg dadurch erwärmt worden war, wurde in das Rohr DE ein auf 8^0 erkalteter Draht hi so eingesteckt, dass er auf fg zu liegen kam. Eine innige Berührung der beiden Drähte wurde durch einen mit Blei beschwerten Holzstab bewirkt, welcher in das verticale Rohr K eingesteckt wurde. Sobald man nun das hervorragende Ende i des kalten Drahtes mit dem anderen Ende des Galvanometerdrahtes in Berührung brachte, erfolgte ein Ausschlag der Galvanometernadel.

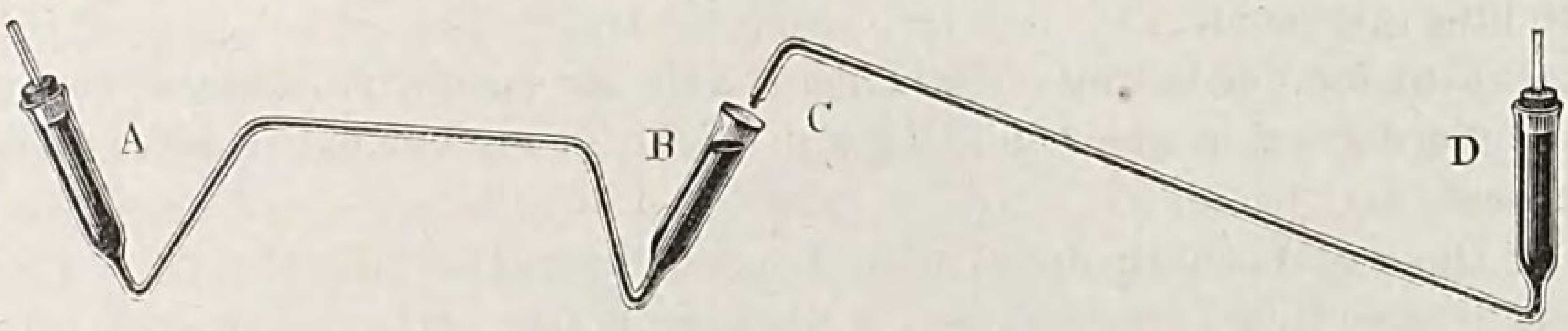
Fig. 541.



Dass warmes und kaltes Quecksilber keinen Strom geben, ist schon von Matteucci beobachtet. Magnus stellte den Versuch mit Queck-

silber in folgender Weise an: Zwei Glasröhren AB und CD mit angeblasenen Glasgefässen, Fig. 542, wurden mit Quecksilber gefüllt, in A

Fig. 542



und D die Galvanometerdrähte eingetaucht. Es zeigte sich kein Strom, mochte nun das Quecksilber in B erwärmt und in dasselbe das kalte Quecksilber der Spitze C, oder mochte umgekehrt das erwärmte Quecksilber der Spitze C in das kalte des Gefässes B eingetaucht werden.

Thermo-elektrische Säulen. Nach dem Princip der Volta'- 177
schen Säule kann man eine mehr oder minder grosse Anzahl n von thermo-elektrischen Elementen zu einer thermo-elektrischen Säule verbinden, und wird dann einen Strom von n mal so grosser elektromotorischer Kraft erhalten als ihn bei gleicher Temperatur der Löthstellen ein einziges Element zu liefern im Stande ist, wenn man die Löthstellen 1, 3, 5 etc. erwärmt, während die dazwischen liegenden kalt bleiben. — Dieser Erklärung zufolge ist klar, dass der in Fig. 540 Seite 599 dargestellte Apparat in die Kategorie der thermo-elektrischen Säulen gehört.

Nobili construirte eine thermo-elektrische Säule, um mittelst derselben in Verbindung mit einem entsprechenden Multiplicator ganz geringe Temperaturunterschiede merklich zu machen und stellte auf diese Weise einen Apparat dar, welcher für das Studium der strahlenden Wärme von der grössten Bedeutung geworden ist. Nobili's Thermosäule ist aus 25 bis 30 Stäbchen von Wismuth und Antimon zusammengesetzt, welche ungefähr 3 bis 4 cm lang sind. Sie sind zusammengelöthet, wie man Fig. 544 sieht, nämlich so, dass alle paarigen Löthstellen auf der einen, alle unpaarigen auf der anderen Seite sich befinden. Das Ganze bildet ein kleines compactes und festes Bündel Fig. 543, weil die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen mit einer isolirenden Substanz, etwa mit Gyps, ausgefüllt sind, denn sie dürfen sich natürlich nur

Fig. 543.

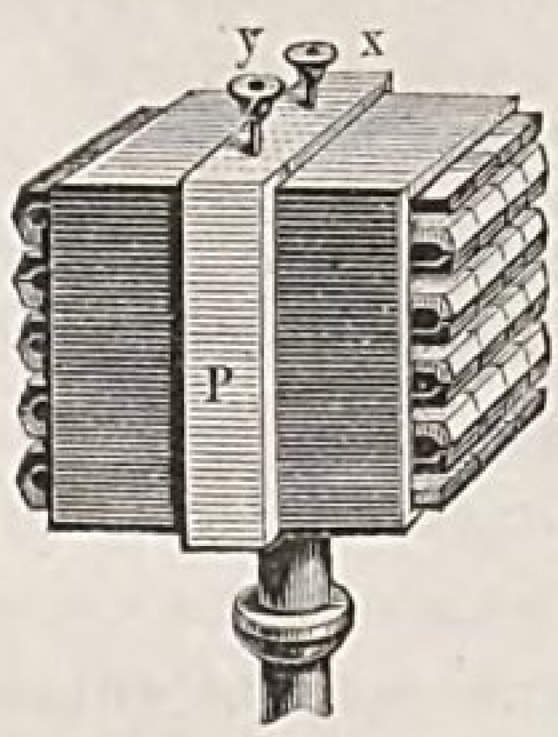


Fig. 544.



an den Löthstellen berühren. Das Wismuthstäbchen des ersten Paares ist mit dem Stifte x, das Antimonstäbchen des letzten Paares ist mit dem Stifte y in leitender Verbindung, diese Stifte bilden also die beiden Pole der Säule; mit ihnen werden die Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Man hat der thermo-elektrischen Säule für specielle Untersuchungen besondere Formen gegeben, die wir jedoch hier nicht näher betrachten können.

Die aus Wismuth und Antimon construirten Thermosäulen leiden an dem grossen Uebelstande, dass sie nicht allein sehr zerbrechlich sind, sondern dass sie auch keine bedeutende Temperaturerhöhung auf der einen Seite vertragen, weil man sonst Gefahr läuft, dass eine Schmelzung der Löthstellen eintritt; man hat deshalb andere thermo-elektrisch wirksame Metallcombinationen in Anwendung gebracht, welche eine bedeutende Erhitzung der Löthstellen vertragen, wie z. B. Eisen-Platin oder nach Poggendorff's Angaben Eisen-Neusilber.

In neuerer Zeit sind unter Benutzung von Metalllegirungen bedeutend kräftigere Thermosäulen von Marcus, Fr. Noë und Clamond construirt worden, mit welchen sich sämmtliche Wirkungen wie mit den Hydroketten erzielen lassen. Die Säule von Marcus in Wien (1864) beruht auf der Anwendung folgender Legirungen:

65	Gewichtstheile	Kupfer	als negatives Metall,
3	„	Zink	
12	„	Antimon	als positives Metall (in der vorigen Auflage irrthümlich als negatives bezeichnet).
5	„	Zink	

Erstere Legirung schmilzt bei circa 1200°, letztere bei 600°. Statt des oben genannten negativen Metalls lässt sich auch Neusilber anwenden.

Die elektromotorische Kraft eines aus diesen Legirungen gebildeten Thermo-Elementes ist bei der höchsten zulässigen Temperatur nach Stefan's Bestimmungen gleich $^1/_{18}$ von der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Bechers.

Eine Batterie von 125 solchen Elementen war im Stande, in einer Minute 25 cbcm Knallgas zu entwickeln und einen Platindraht von $\frac{1}{2}$ mm Dicke glühend zu machen. Eine Säule von 30 Elementen aber konnte einen Elektromagnet von 70 Kilo Tragkraft erzeugen.

Fig. 545 stellt eine Marcus'sche Thermosäule von 16 Elementen dar (meistens bestehen sie aus 20 Elementen). Auf jeder Seite einer eisernen Platte $a\,b$ sind 8 Streifen von Neusilber aufgeschraubt (ohne jedoch mit dem Eisenstab oder unter sich in leitender Verbindung zu stehen), welche 18 mm breit, 18 cm lang und gegen 2 mm dick sind. Gleich unterhalb des Eisenstabes $a\,b$ sind sie nach der Seite gebogen und zwar auf der einen Seite nach links, auf der anderen nach rechts,

so dass sie gleichsam ein Dach bilden. Die positiven Stäbe, welche ihrer schlechten Leitungsfähigkeit sowie ihrer Sprödigkeit wegen 25 mm dick sind, haben eine Länge von 15·5 cm.

Fig. 545.

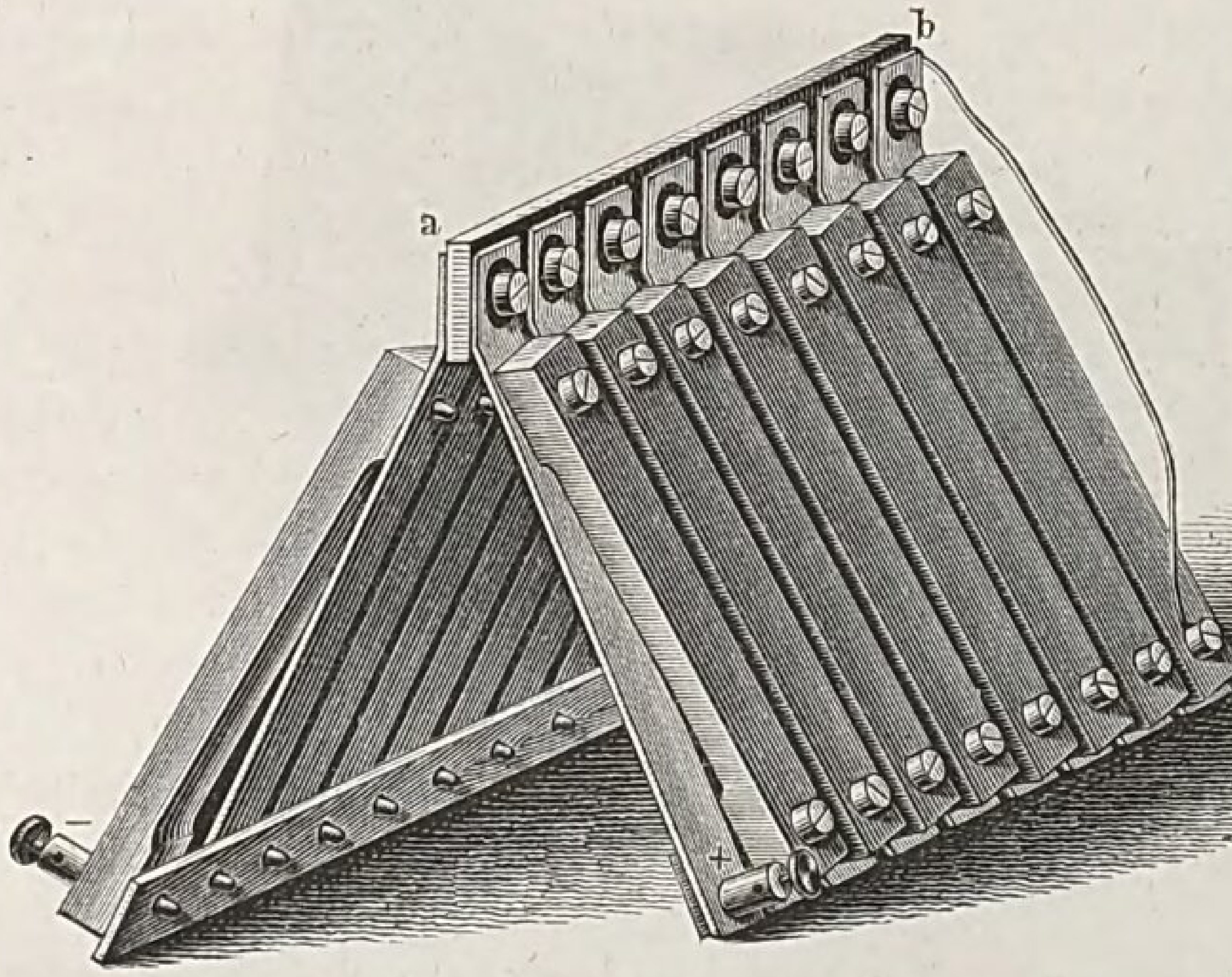


Fig. 546 zeigt, wie die Neusilberstreifen auf dem Eisenstab *ab* befestigt sind. Das Gewinde der Schraube greift nur in die Neusilberplatte auf der linken Seite ein. Die Eisenplatte und der Neusilberstreifen auf der rechten Seite haben grössere Oeffnungen, welche mit Thoncylindern ausgefüllt sind, durch deren Mitte die Schraubenspindel hindurchgeht. Die Berührung der Neusilberplatten und der Eisenplatte ist durch zwischengelegte Glimmerplatten verhindert. Ebenso ist die Neusilberplatte rechts durch Glimmer vor der Berührung mit dem Schraubenkopf geschützt.

Fig. 546.



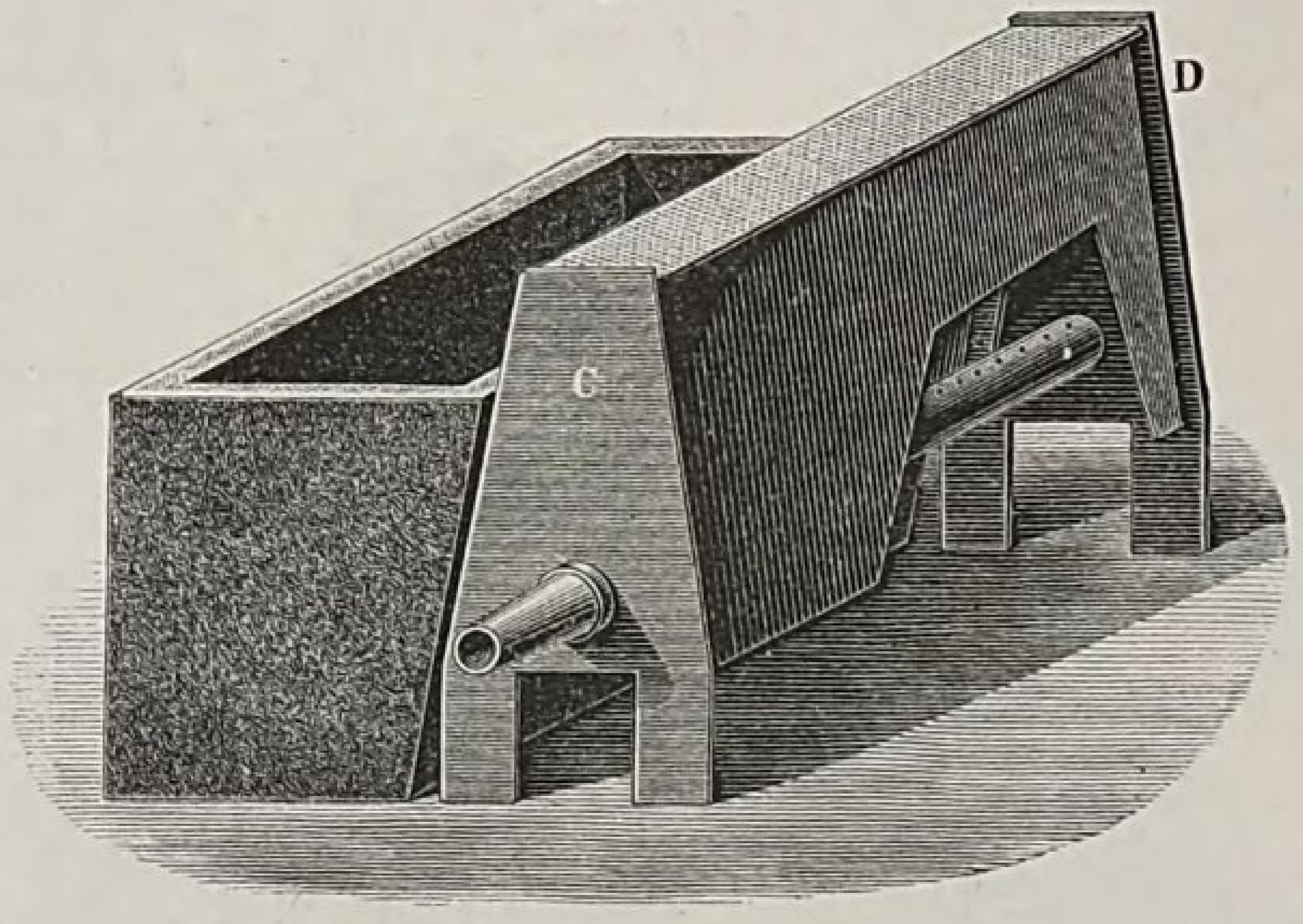
Die unteren Enden der Metallstäbe sind auf einen Streifen von Kammmasse aufgeschraubt.

Die Erhitzung der oberen Berührungsstellen geschieht durch den Gasbrenner *CD*, Fig. 547 (a. f. S.), ein unten offener, oben durch ein doppeltes Drahttuch geschlossener Kasten von Schwarzblech. Durch die ganze Länge des Kastens geht unten ein Messingrohr hindurch, welches oben mit einer Reihe feiner Oeffnungen versehen ist. Das durch diese Oeffnungen ausströmende Gas mischt sich innerhalb des Kastens mit atmosphärischer Luft und kommt oberhalb des Drahttuches zur Verbrennung.

Besser ist es, wenn der Kasten unten nicht ganz offen, sondern wenn er hier mittelst eines durchlöcherten Bleches geschlossen ist.

Auf jeder Seite des Gasbrenners CD steht ein Gefäss von gebranntem Thon. Unsere Figur zeigt das auf der linken Seite stehende, wäh-

Fig. 547.



rend das andere weggelassen ist. In diese kaltes Wasser enthaltenden Gefässe sind die unteren Berührungsstellen der Thermosäule eingetaucht.

Die Thermosäule von Marcus hat den Nachtheil grosser Zerbrechlichkeit der angewandten Antimon-Zinklegirung, ferner ziemlich grossen Widerstandes, der durch den Gebrauch der Säule sich allmälig noch mehr vergrössert. Ungleich günstigere Resultate giebt die Thermosäule von Fr. Noë in Wien. Leider ist dieser talentvolle Elektrotechniker vor einiger Zeit gestorben und seitdem die Ausnutzung seines Privilegiumgeheimnisses ins Stocken gerathen; die anderwärts nachgeahmten Säulen dagegen sind von geringerer Wirksamkeit. Fig. 548 zeigt eine solche Noë'sche Säule in sternförmiger Anordnung in perspectivischer Zeichnung, Fig. 549 im Grundriss. Dieselbe besteht aus 20 Thermoelementen, welche radienförmig auf einem Ringe aus isolirendem Materiale b befestigt sind. m stellt das in Cylinderform gegossene spröde aus Antimon und Zink bestehende positive Metall vor, n das dem Neusilber ähnliche in Form eines doppelten (oder mehrfachen) Drahtes angewendete positive Metall. Bei a ist die warme Contactstelle des Elementes, welche nicht direct, sondern dadurch erhitzt wird, dass ein Kupferstift h in den Cylinder m eingegossen ist, welcher durch Leitung die Wärme zuführt. Die Abkühlung an der entgegengesetzten Seite geschieht durch eine kupferne Armatur k, welche mit der ebenfalls kupfernen Blechspirale r in wärmeleitender Verbindung steht. Letztere bringt einen Luftzug und hierdurch eine Luftkühlung zu Stande, welche die Anwendung von Kühlwasser entbehrlich macht. Im Centrum der Vorrichtung sind die centralen Enden der Kupferheizstifte zwischen zwei kreisförmige Glimmerplatten gefasst, wodurch bewirkt wird, dass die Flamme eines untergestellten Bunsen'schen Brenners sich ausbreitet und die Heiz-

stifte zum Glühen erhitzt. Statt des Gasbrenners kann auch eine Spirituslampe benutzt werden. Der positive Poldraht ist bei k, der negative bei n' befestigt.

Fig. 548.

$\frac{1}{4}$

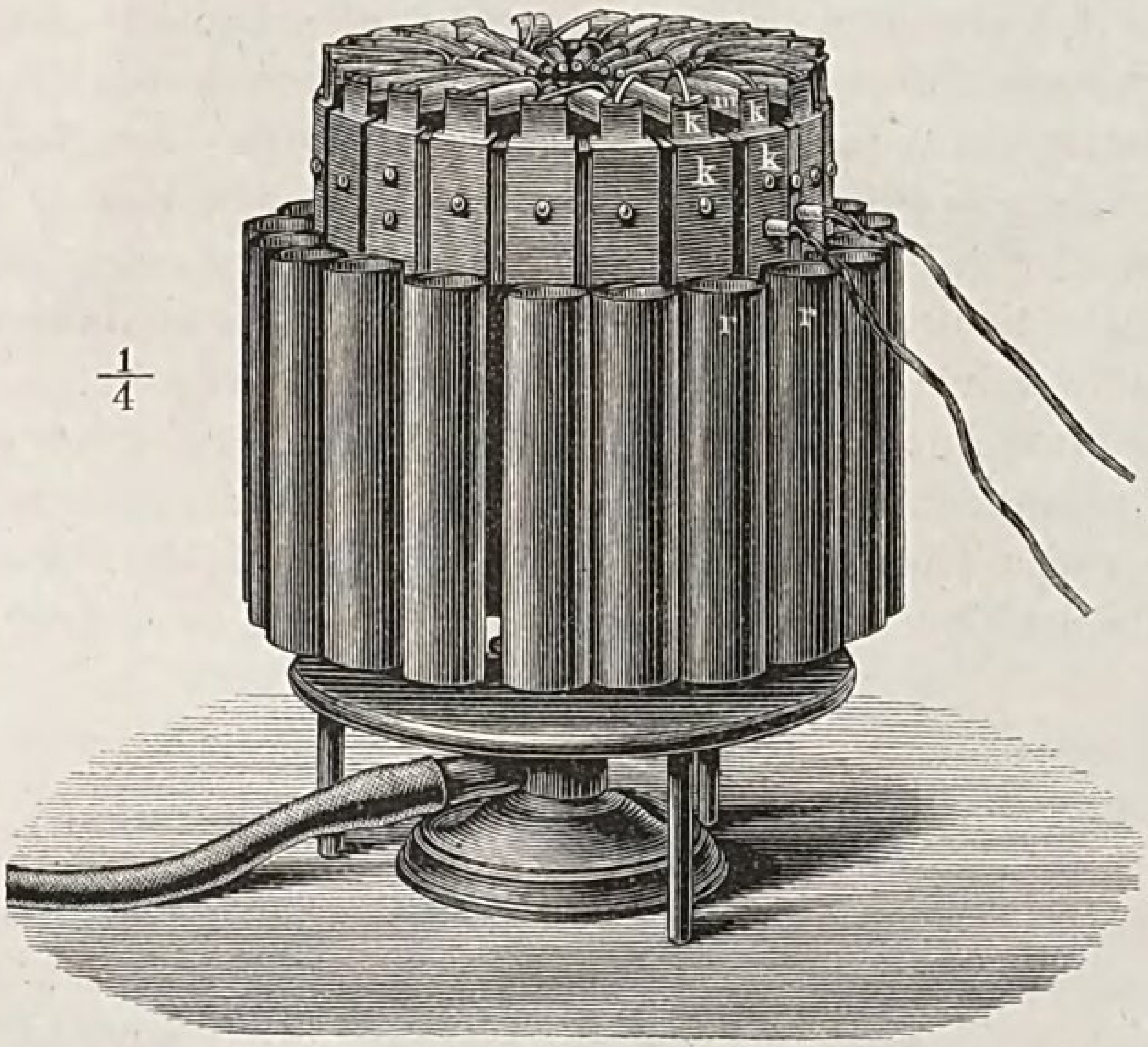
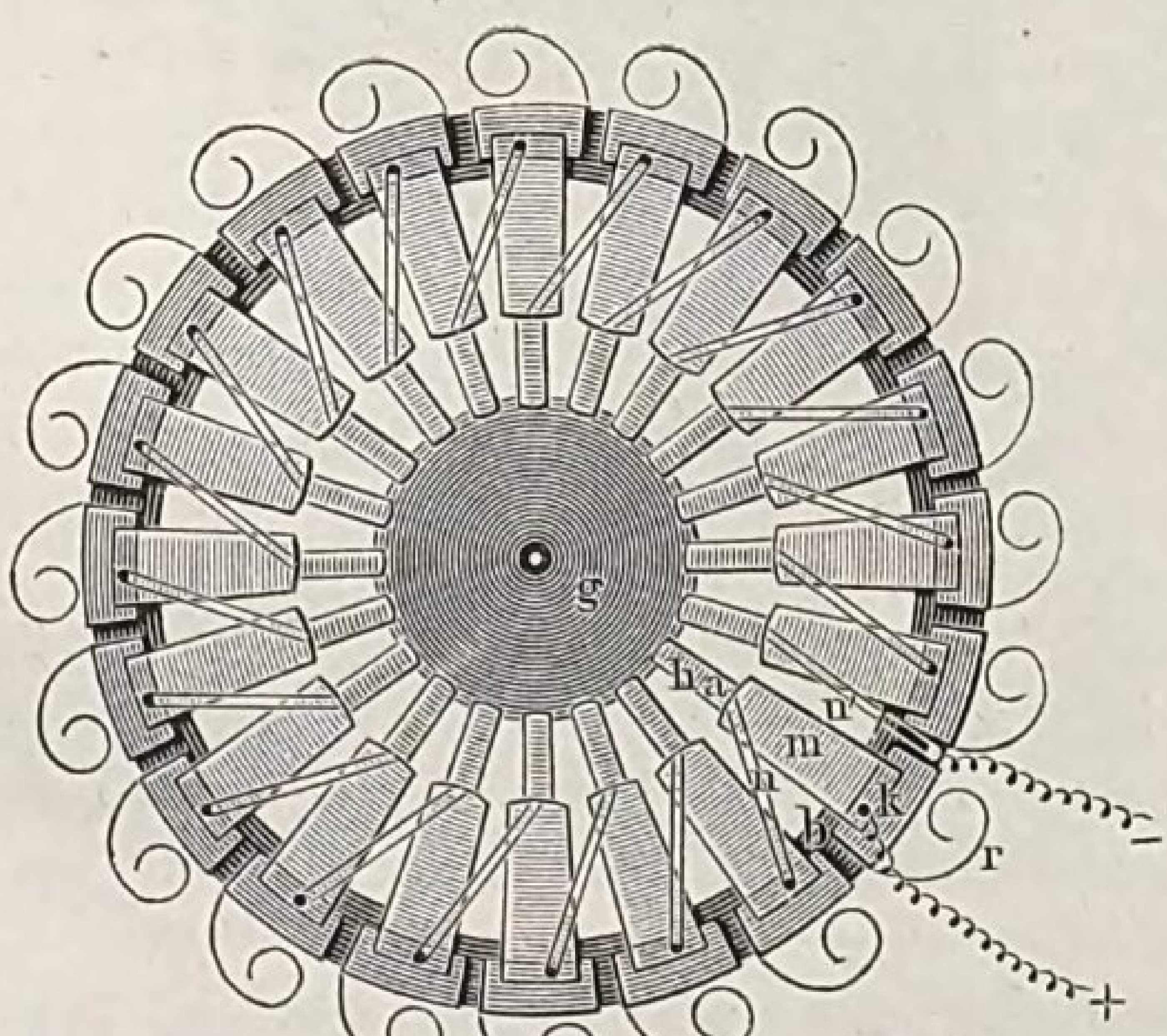


Fig. 549.



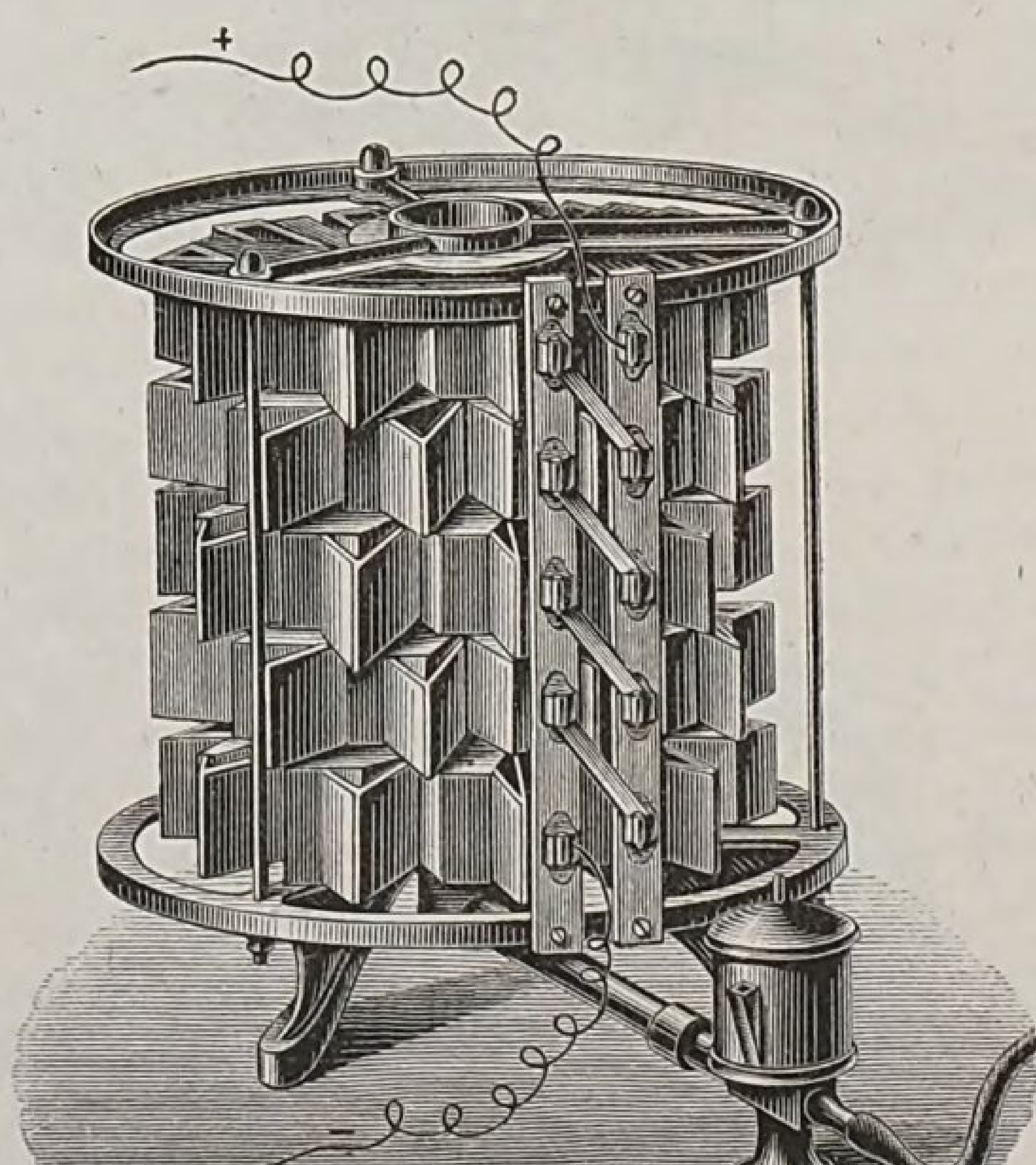
Nach A. v. Waltenhofen's Messungen ist bei normaler Erhitzung die elektromotorische Kraft eines Einzelelementes ungefähr = 1 (höch-

stens 1·3), der Widerstand = 0·05 (in Jacobi-Siemens Einheiten) Die ganze Säule hat also ungefähr die elektromotorische Kraft = 20 wie ein Bunsen'sches Element und den Widerstand = 1. Spätere verbesserte Säulen hatten nur mehr die Hälfte dieses Widerstandes, nämlich 0·024 per Element.

Ausser den sternförmig angeordneten Säulen baute Noë auch solche mit zahlreicheren Elementen in geradliniger Anordnung, bei welchen überdies durch ein passend angebrachtes Pachytrop verschiedene Combinationen mit grösserer und geringerer elektromotorischer Kraft und geringerem oder grösserem Widerstande hergestellt werden können. Die Erhitzung geschieht durch eine geradlinige Reihe von Bunsenbrennern, deren Gaszufluss durch eine Sicherheitsvorrichtung regulirt wird. Durch Anwendung einer Anzahl solcher Noë'scher Thermosäulen ist es A. v. Waltenhofen gelungen, elektrisches Kohlenlicht zu erzeugen.

Clamond's Thermosäule ist in Fig. 550 abgebildet. Die Elemente dieser Säule bestehen einerseits aus einer Legirung von 2 Theilen Anti-

Fig. 550.



mon und 1 Theil Zink, andererseits aus verzinntem Eisen. Die Verbindung beider ist durch Guss bewerkstelligt. Eine kreisförmig angeordnete Reihe solcher Elemente wird durch einen Kitt aus Asbest und Natronwasserglas verbunden und bildet so einen Kranz. Auf diesen wird, durch denselben Kitt isolirt, ein zweiter bis fünfter Kranz aufgesetzt. Die Polenden aller einzelnen Kränze können ausserhalb der so entstan-

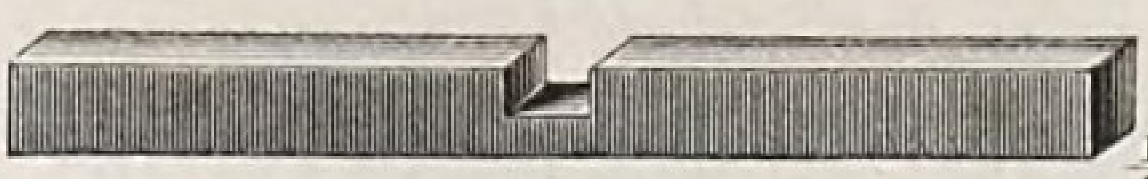
denen cylinderförmigen Säule nach Belieben verbunden werden. Die Heizung erfolgt in der centralen cylindrischen Höhlung mittelst eines Bunsenbrenners, auf welchen ein hohler Thoncylinder mit vielen Seitenöffnungen aufgesetzt ist, durch welche letzteren das Gas in vielen kleinen Flammen herausbrennt. Zwischen diesem Brenner und den Contactstellen ist noch ein eiserner Schutzmantel angebracht, welcher die Ueberhitzung der Elemente verhindert. Die Heizung kann übrigens auch auf Coaks oder Holzkohle, so wie auch auf Petroleum eingerichtet werden.

Eine Clamond'sche Säule von 100 Elementen, welche 230 l Gas pro Stunde verbrennt, hat bei einem inneren Widerstande von 1 Siem.-Einheit ungefähr die elektromotorische Kraft 23 (Jacobi-Siemens). Eine solche Säule mit 240 Elementen, welche 125 l Gas pro Stunde verbrennt und 6 Siem.-Einheiten Widerstand besitzt, entwickelt eine elektromotorische Kraft von 127 Einheiten. Endlich sind Säulen gebaut, welche bei einem Verbrauch von 2 Kilo Coaks per Stunde eine elektromotorische Kraft 212 entwickeln; ihr Widerstand ist 4 Siem.-Einheiten.

Auch die Clamond'schen Thermosäulen sind bereits zur Erzeugung des elektrischen Kohlenlichtes benutzt worden. Man verwendet dazu 4 Säulen zu je 400 Elementen, welche zusammen pro Stunde 3·2 cbm Gas verzehren und 50 Bunsenelemente ersetzen.

Peltier's Versuch; Kälteerzeugung durch den elektrischen Strom. 178 Peltier machte zuerst die überraschende Beobachtung, dass an der Berührungsstelle zweier verschiedener zusammengelötheter Metalle eine Erwärmung oder eine Erkaltung erfolgt, je nachdem man einen elektrischen Strom von angemessener Stärke in der einen oder in der anderen Richtung hindurchgehen lässt. — Den Versuch stellte er in folgender Weise an. Ein Stab von Wismuth und ein solcher von Antimon, deren jeder ungefähr 11 cm lang war und einen Querschnitt von 16 qmm hatte, wurden so auf einander gelöthet, dass sie ein Kreuz bildeten; an der Kreuzungsstelle waren sie in einander gefügt; jeder einzelne Stab hatte also die Gestalt Fig. 551. Die Fig. 552 (a. f. S.) stellt das ganze Kreuz, und zwar der dunkel schraffirte Arm den Antimonstab, der helle Arm den Wismuthstab dar. Wird nun zwischen die Stabenden W und A ein Multiplicator G eingeschaltet, wie dies in der Figur angedeutet ist, so wird dessen Nadel nach der einen Seite ausschlagen, wenn man die Löthstelle bei m erwärmt, nach der anderen, wenn man sie erkaltet, und zwar hat der durch das Galvanometer angezeigte Strom die Richtung der ungefiederten Pfeile, wenn die Löthstelle bei m erkaltet wird.

Fig. 551.

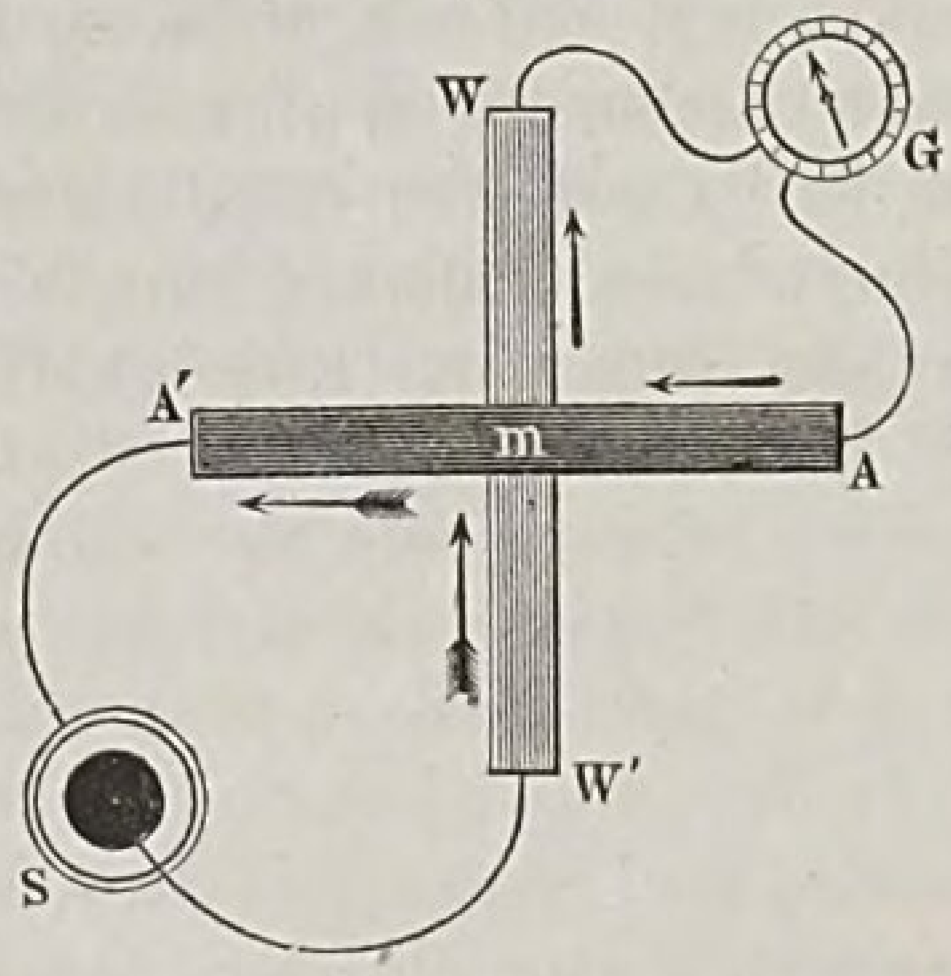


$\frac{1}{3}$

Nun aber verband Peltier A' mit dem einen, W' mit dem anderen Pole eines Volta'schen Elementes S, so dass ein Strom die Arme

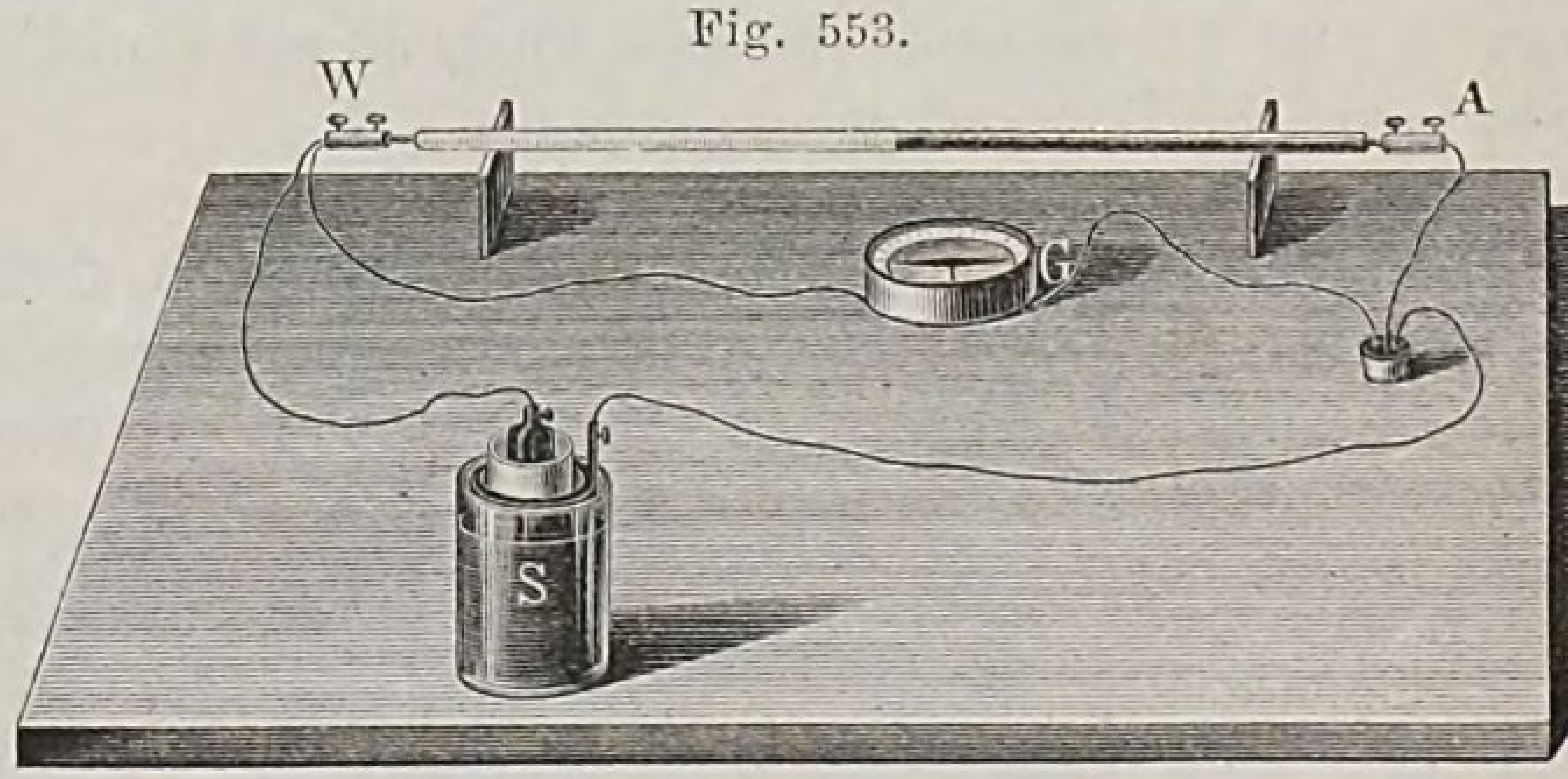
$A'm$ und mW' durchlief. Auch jetzt wurde die Multiplicatornadel abgelenkt, und zwar zeigte die Ablenkung eine Erwärmung bei m an, wenn der positive Strom von A' über m nach W' ging, eine Erkaltung wenn er in der entgegengesetzten, durch die gefiederten Pfeile angedeuteten Richtung circulirte.

Fig. 552.



Die durch den galvanischen Strom hervorgebrachte Erkaltung an der Löthstelle zweier verschiedener Metalle lässt sich auch in der durch die Fig. 553 erläuterten Weise zeigen. Ein zur Hälfte aus Wismuth, zur Hälfte aus Antimon bestehender Stab WA wird mittelst eines Quecksilbernäpfchens zuerst in den Schliessungsbogen eines Bunsen'schen Bechers S, und nach Unterbrechung des von S durch gesendeten Stromes in den WA Schliessungsbogen des Galvanometers G

Fig. 553.

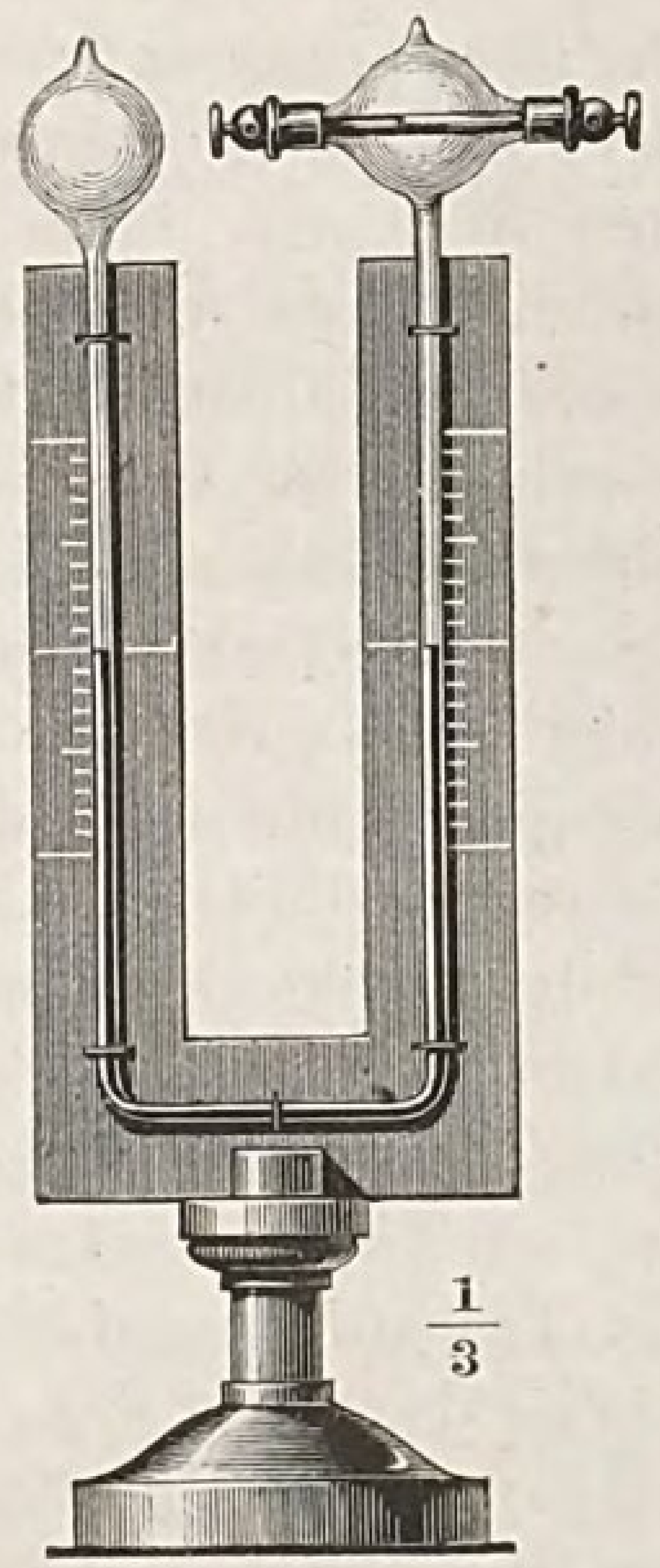


gebracht. War der positive Strom des Bechers S in der Richtung vom Wismuth zum Antimon durch den Stab WA gegangen, so zeigte nachher die Ablenkung des Galvanometers einen im Stab WA vom Antimon zum Wismuth gehenden Strom, also eine Erkaltung der Löthstelle an.

Bei dieser Vorrichtung darf das Galvanometer nicht gleichzeitig mit dem Becher S in den Schliessungsbogen des Stabes WA eingeschaltet sein, weil sonst das Galvanometer eine Nebenschliessung für den hydroelektrischen Strom des Bechers S bilden würde, was bei dem Peltier'schen Kreuz nicht der Fall ist. Bei dem Peltier'schen Kreuz kann ohne Anstand das Galvanometer G in den Schliessungsbogen der Arme Wm und mA eingeschaltet sein, während gleichzeitig der Strom des Bechers S die Arme $W'm$ und mA' durchläuft. Beim Peltier'schen Kreuz lässt sich deshalb ein fester Stand der Galvanometernadel beobachten, während man bei der Vorrichtung Fig. 553 nur die allmälig abnehmende Nachwirkung des hydro-elektrischen Stromes auf die Löthstelle beobachtet.

Die Erkaltung einer Löthstelle durch einen elektrischen Strom hat Peltier auch mit Hülfe des Apparates Fig. 554 direct nachgewiesen.

Fig. 554.



Durch die eine Kugel eines Differentialluftthermometers geht luftdicht ein Stäbchen hindurch, dessen eine Längshälfte Wismuth, dessen andere Antimon ist. Lässt man einen galvanischen Strom durch das Stäbchen hindurchgehen, so zeigt das Sinken der Flüssigkeit im Schenkel rechts eine Erwärmung der Löthstelle an, wenn der positive Strom vom Antimon zum Wismuth geht; lässt man aber den Strom in entgegengesetzter Richtung circuliren, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre, deren Kugel das Metallstäbchen enthält, was eine Erkaltung der Löthstelle anzeigt.

Lenz machte an der Löthstelle eines Wismuth- und Antimonstabes ein Loch, füllte es mit Wasser und legte den Stab auf schmelzenden Schnee, mit welchem er auch die übrigen Theile desselben, mit Ausnahme der Löthstelle, bedeckte. Die Stange erhielt dadurch natürlich eine Temperatur von 0⁰, welche auch ein in das Wasser der Löthstelle eingetauchtes Thermometer angab. Als aber der Stab so zwischen die Pole eines Volta'schen Elementes eingeschaltet wurde, dass der positive Strom vom Wismuth zum Antimon ging, war das Wasser im Loche der Löthstelle nach fünf Minuten vollständig gefroren, und das Thermometer sank auf — 3·5⁰.

Damit sich die Erkaltung der Löthstelle wirklich zeigen kann, darf der elektrische Strom, welchen man durch sie hindurchsendet, aus Gründen, die sogleich besprochen werden sollen, nicht zu stark sein; in den meisten Fällen ist der Strom eines Bunsen'schen Bechers am geeignetsten.

Peltier war anfangs der Meinung, dass das fragliche Phänomen von den Leitungsverhältnissen der zusammengelötheten Metalle abhängig sei; Poggendorff aber hat gezeigt, dass sie durch die thermoelektrischen Beziehungen der zusammengelötheten Metalle bedingt sei. Eine Erkaltung der Löthstelle tritt ein, wenn man durch dieselbe einen elektrischen Strom hindurchsendet, welcher gleiche Richtung mit dem durch Erwärmen der fraglichen Löthstelle erzeugten Thermostrome hat, eine Erwärmung der Löthstelle tritt dagegen ein, wenn man den Strom in entgegengesetzter Richtung hindurchsendet.

Die Abhängigkeit dieser eigenthümlichen, nur an den Löthstellen auftretenden thermischen Wirkung von der Stärke des sie hervorrufen-

den Stromes haben Quintus Icilius, Frankenheim, Edlund, Le Roux und v. Waltenhofen untersucht.

Quintus Icilius liess den durch eine Tangentenbussole gemessenen Strom eines Bunsen'schen Bechers durch eine aus 32 Wismuth- und Antimonstäben gebildete Thermosäule gehen; durch diesen primären Strom wurde die Hälfte der Löthstellen (etwa die paarige) erwärmt, während die andere Hälfte derselben eine Erkaltung erfuhr. War nun dadurch, dass der primäre Strom eine Zeit lang durch die Säule hindurchgegangen war, eine genügende Temperaturdifferenz der alternirenden Löthstellen erzielt worden, so wurde nun der primäre Strom unterbrochen und die Thermosäule durch ein Spiegelgalvanometer geschlossen, dessen Magnet nun durch den Thermostrom der Säule abgelenkt wurde. Eine constante Ablenkung konnte aber natürlich hier nicht eintreten, da die durch den primären Strom hervorgerufene Temperaturdifferenz der Löthstellen nach dessen Unterbrechung ziemlich rasch abnimmt. Es wurden deshalb die Gränzlagen von 6 auf einander folgenden Oscillationen des im Galvanometer aufgehängten Magnets beobachtet und aus diesen Beobachtungen auf die ursprüngliche Stärke des Thermostromes geschlossen. Auf diese Weise ergab sich nun, dass der Thermostrom der Wismuth-Antimonsäule, also auch die Temperaturdifferenz der alternirenden Löthstellen der Stärke des sie hervorrufenden primären Stromes einfach proportional ist. Die Temperaturveränderungen, welche der primäre Strom an den Löthstellen bewirkt, folgen also einem ganz anderen Gesetz als die durch den Strom in metallischen Leitern überhaupt entwickelte Wärme, denn letztere ist, wie wir in §. 116 gesehen haben, nach dem Joule'schen Gesetze dem Quadrate der Stromstärke proportional.

Zu dem gleichen Resultate gelangte auch Frankenheim (Pogg. Ann. XCI) auf einem ganz anderen Wege. Er wandte zu seinen Versuchen verschiedene Metallcombinationen in Form des Peltier'schen Kreuzes an. Zwischen den Armen A' und W', Fig. 532, S. 608, wurde ausser dem galvanischen Becher S noch eine Tangentenbussole und ein Commutator eingeschaltet, während sich ein Galvanometer G im Schliessungsbogen zwischen A und W befand.

Als der primäre Strom, dessen Stärke durch Veränderung des eingeschalteten Widerstandes regulirt wurde, so durch die Kreuzungsstelle hindurchging, dass hier eine Erwärmung erfolgte, wurde das Galvanometer abgelesen; dann wurde der primäre Strom umgekehrt und bei unveränderter Stärke desselben die der Erkaltung der Kreuzungsstelle entsprechende Stellung der Galvanometernadel beobachtet.

Die folgende kleine Tabelle giebt an, welches für ein Wismuth-Antimonkreuz, welches aus 4·5 mm dicken cylindrischen Stäben gebildet war, die aus der Ablenkung des Galvanometers berechneten Stromstärken i und i' waren, als der primäre Strom von der Stärke J (gemessen durch die Tangente des Ablenkungswinkels der Tangentenbussole)

in der einen oder der anderen Richtung durch die Kreuzungsstelle ging und zwar entspricht i der Erwärmung, i' der Erkaltung der Kreuzungsstelle.

J	i	i'	b	a	$a : J$
0·333	0·104	— 0·093	0·005	0·098	0·328
0·782	0·279	— 0·194	0·042	0·236	0·302
1·391	0·506	— 0·305	0·101	0·405	0·299
2·123	0·988	— 0·272	0·358	0·630	0·297

Mittel 0·306.

Die den Stromstärken i und i' proportionalen Erwärmungen und Erkaltungen der Löthstelle sind das Resultat des Zusammenwirkens zweier verschiedener Wärmeprocesse, welche der primäre Strom hervorbringt. Zunächst bewirkt er eine von der Stromesrichtung ganz unabhängige Erwärmung des ganzen metallischen Schliessungsbogens, welche, wie wir aus §. 116 wissen, dem Quadrat der Stromstärke proportional ist, und welche wir die primäre nennen und mit b bezeichnen wollen. Ausser dieser primären Wärme tritt aber an der Löthstelle, in welcher die heterogenen Metalle zusammenstossen, noch ein secundärer Effect auf, den wir mit a bezeichnen wollen und welcher je nach der Richtung des Stromes positiv oder negativ ist. Die an der Löthstelle auftretenden Aenderungen des Wärmezustandes sind also, je nach der Richtung des primären Stromes, entweder

$$i = b + a$$

oder

$$i' = b - a.$$

Aus diesen beiden Gleichungen aber folgt

$$b = \frac{i + i'}{2}$$

und

$$a = \frac{i - i'}{2}.$$

Aus den beobachteten Werthen von i und i' lassen sich also die entsprechenden Werthe von a und b berechnen, und so ergeben sich die Werthe von a und b, wie sie in der vierten und fünften Verticalreihe der obigen Tabelle eingetragen sind. Dividirt man irgend einen der Werthe von a durch den ihm entsprechenden Werth von J, so ergiebt sich der Werth des Quotienten $a : J$, wie er in der sechsten Verticalreihe eingetragen ist. Dieser Quotient behält aber, wie man aus der Tabelle ersieht, stets sehr nahe denselben Werth; die Wärmeänderung a also, welche Frankenheim als die secundäre bezeichnet und welche ledig-

lich von der Einwirkung des primären Stromes auf die Löthstelle abhängt, ist also einfach der Stärke dieses Stromes proportional, dieser secundäre Wärmeeffect folgt also einem anderen Gesetze als die allgemeine Erwärmung des metallischen Schliessungsbogens.

Nach diesen Erörterungen ist also, wenn B und A irgend welche constante Factoren bezeichnen

$$b = BJ^2$$

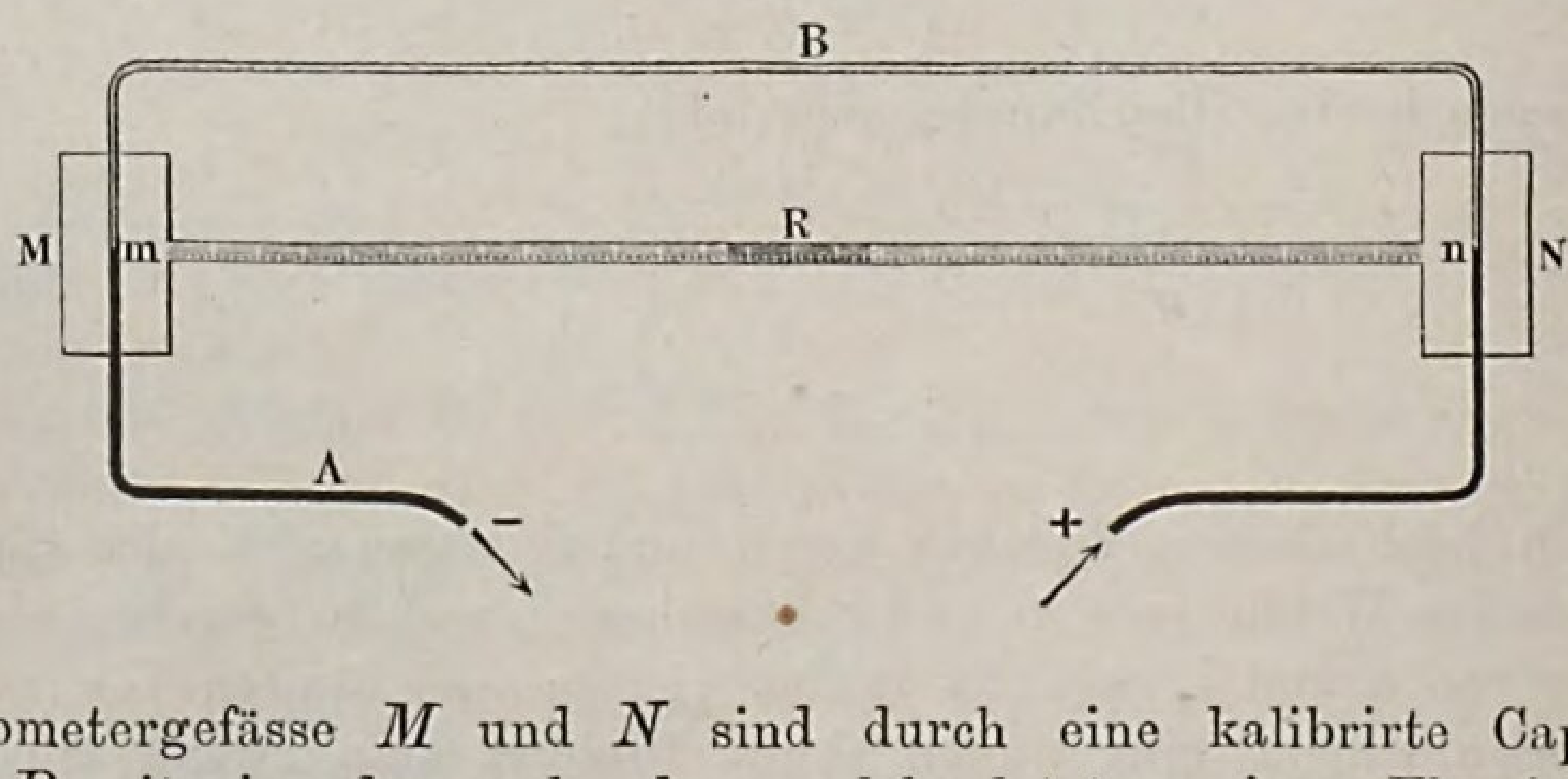
$$a = AJ$$

also $$i' = BJ^2 - AJ.$$

Wenn J von 0 an allmälig wächst, so ist i' anfangs schwach negativ, d. h. unter den entsprechenden Umständen zeigt sich an der Löthstelle eine schwache Erkaltung; diese Erkaltung nimmt zu, wenn J wächst, um ein Maximum zu erreichen, wenn $J = \frac{A}{2B}$. Wächst J noch mehr, so nimmt i' wieder ab, um für $J = \frac{A}{B}$ gleich Null zu werden. Wächst J über diesen Werth hinaus, so wird i' positiv, es tritt also keine Erkaltung der Löthstelle mehr ein. Dadurch erklärt sich nun auch, warum man nur schwächere Ströme in Anwendung bringen darf, wenn wirklich eine Erkaltung der Löthstelle stattfinden soll.

Edlund ist zu demselben Resultate gekommen, dass die Temperaturänderung an den Löthstellen proportional der Stärke des primären Stromes ist, indem er auf folgende sinnreiche Weise die Peltier'sche Temperaturänderung von der Joule'schen Erwärmung getrennt beobachtete. Er bediente sich dazu eines Differentialluftthermometers von der in Fig. 555 schematisch gezeichneten Anordnung. Zwei Luft-

Fig. 555.

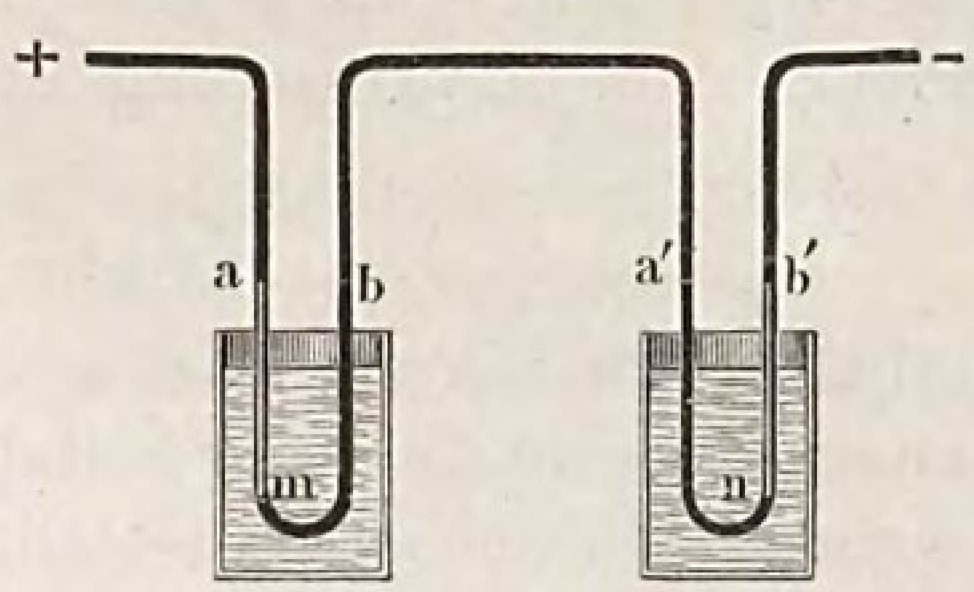


thermometergefässe M und N sind durch eine kalibrirte Capillarröhre R mit einander verbunden, welche letztere einen Flüssigkeitsfaden enthält, welcher die beiden Luftmassen von einander trennt. Die beiden Metalle A und B durchsetzen luftdicht die Wände der Gefässe und sind bei m und n zusammengelöthet. Bei + und — werden die Pole einer Batterie verbunden.

Sind die Metallstücke innerhalb der Gefässe von gleichem Widerstande und die Gefässe *M* und *N* gleich gross, so kann die Joule'sche Erwärmung den Stand des Flüssigkeitsfadens nicht verändern, weil der Druck der Luft in beiden Gefässen um ein Gleiches gesteigert wird. Hingegen bringt die Peltier'sche Temperaturänderung, da sie in beiden Gefässen entgegengesetzt verläuft, eine Verschiebung des Fadens hervor, aus welcher der Betrag der Temperaturänderungen abgeleitet werden kann. Allfällige Ungleichheiten in den Widerständen bei *m* und *n* wurden durch Beobachtungen mit vertauschter Stromrichtung eliminirt.

Endlich hat Le Roux direct durch calorimetrische Messungen die Wärmemengen, welche an den beiden Löthstellen im Ganzen frei wurden, gemessen, indem er diese Löthstellen in kleine mit Wasser gefüllte Calorimeter eintauchte und die gleichzeitigen Temperaturanstiege ermittelte. Man kann sich zur Ausführung dieses Versuches des Apparates bedienen, den wir im Band II, 2, Seite 312 beschrieben und in den Figuren 193 abgebildet haben, indem man die Platinspiralen *s* und *s'* durch zusammengelöthete Metalldrähte ersetzt, welche dann aber nicht ganz in das Wasser versenkt werden dürfen, sondern so, wie Fig. 556 schematisch zeigt, aus demselben hervorragen müssen. Die Stücke *am* und *a'n* sind z. B. aus Wismuth, die übrige Leitung ist aus Kupfer hergestellt.

Fig. 556.



Angenommen, die Wasserwerthe der beiden Calorimeter seien w_1 und w_2, die corrigirten Temperaturanstiege τ_1 und τ_2, so sind die im Ganzen entwickelten Wärmemengen

$$Q_1 = w_1 \tau_1, \quad Q_2 = w_2 \tau_2.$$

Bezeichnen wir die Joule'schen Wärmen, welche wegen Ungleichheit der Widerstände etwas verschieden sein können, mit q_1 und q_2, die Peltier'schen Wärmequantitäten mit p_1 und p_2, so liefert ein erster Versuch die Gleichungen:

$$Q_1 = q_1 + p_1, \qquad Q_2 = q_2 - p_2.$$

Kehrt man nun den Strom um und lässt ihn genau ebenso stark und ebenso lange durch den Apparat gehen, so erhält man diesmal:

$$Q'_1 = q_1 - p_1, \qquad Q'_2 = q_2 + p_2,$$

woraus folgt:

$$p_1 = \frac{Q_1 - Q'_1}{2}, \qquad p_2 = \frac{Q'_2 - Q_2}{2}.$$

Da aber $p_1 = p_2$ sein soll, so erhält man den Mittelwerth

$$p = \frac{Q_1 - Q'_1 + Q'_2 - Q_2}{4}.$$

Le Roux fand, dass die Wärmemenge p bei verschiedenen Combinationen der thermo-elektrischen Kraft derselben proportional sei. Ausserdem untersuchte Le Roux den Einfluss der Temperatur der Löthstelle auf die Grösse von p und fand für die Combination Kupfer-Wismuth die Werthe von p bei 25⁰ und bei 100⁰ im Verhältnisse von 1 : 1·29 stehend. Die Peltier'sche Wärme (sowohl die Erwärmung der einen als die Abkühlung der andern Löthstelle) wird also grösser, wenn die Temperatur der Löthstelle höher ist. Wir kommen hierauf im §. 181 zurück.

Es ist selbstverständlich, dass zur Hervorbringung des Peltier'schen Phänomens nicht gerade ein Strom eines Hydroelementes erforderlich ist, sondern dass jeder elektrische Strom irgend welcher Quelle, also auch ein Thermostrom, dieselbe Wirkung hervorbringt.

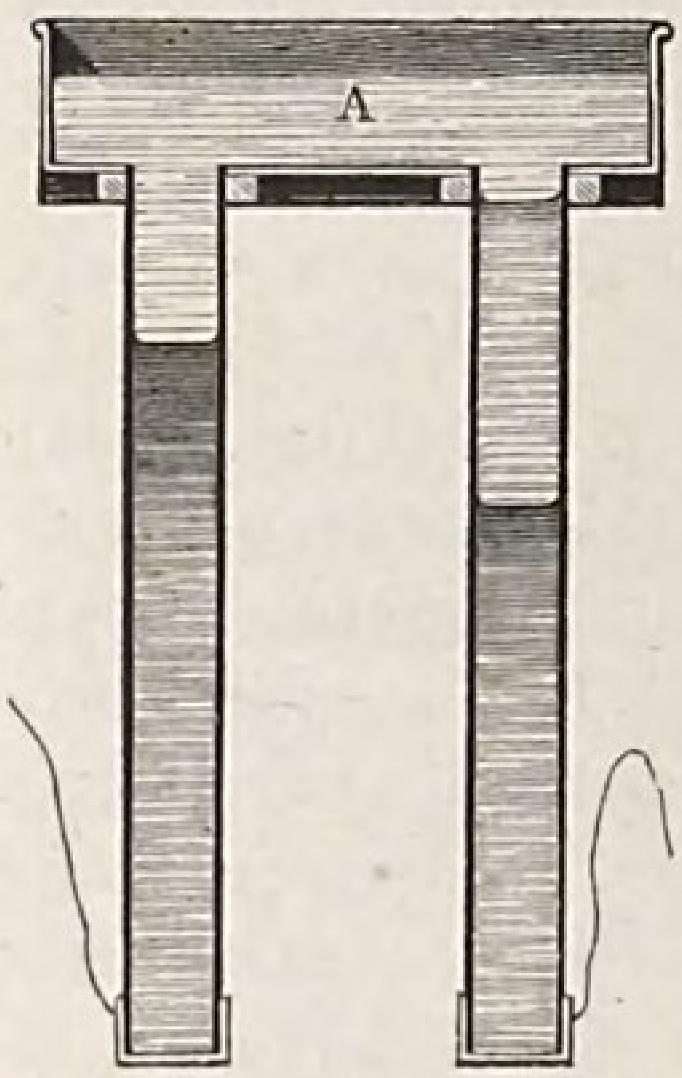
Daraus folgt, dass, wenn man in einem Thermoelemente durch Temperaturdifferenz einen Thermostrom hervorruft, dieser selbst an den Löthstellen die Temperaturen zu verändern strebt und zwar in dem Sinne, dass er die wärmere Stelle abkühlt, die kältere erwärmt. Der Thermostrom eines Thermoelementes wirkt sich also selbst entgegen; er erzeugt Temperaturänderungen, welche, für sich allein vorhanden, einen entgegengesetzten Strom hervorbringen würden. Dieser Gegenstand hat also eine gewisse Analogie mit dem Polarisationsstrom einer Hydrokette. Beide werden durch den primären Strom hervorgerufen, beide schwächen den letztern und bringen dadurch scheinbar eine Vergrösserung des Widerstandes des Elementes hervor.

179 **Thermoströme zwischen Flüssigkeiten.** Wenn zwei sonst gleichartige mit den Enden des Multiplicatordrahtes verbundene Metallplatten, von denen die eine erwärmt ist, während die andere kalt bleibt, in eine stromleitende Flüssigkeit eingetaucht werden, so entsteht ein Strom, der aber wohl mehr der Oberflächenänderung der erhitzten Platte und ihrer veränderten Affinität zur Flüssigkeit zugeschrieben werden muss, als einer eigentlichen thermo-elektrischen Differenz. Weit mehr dürfte dies bei denjenigen Strömen der Fall sein, welche entstehen, wenn die Berührungsstelle heterogener Flüssigkeiten erwärmt wird.

Die Thermoströme zwischen Flüssigkeiten hat schon Nobili nachgewiesen. Wild benutzte zu ihrer Untersuchung den in Fig. 557 dargestellten Apparat. In den Boden eines Holzkästchens A waren zwei Glasröhren eingesetzt, die unten durch gleichartige Metallkapseln geschlossen waren; jede dieser Metallkapseln war durch einen Kupferdraht mit dem einen Drahtende eines empfindlichen Multiplicators verbunden. Als bei einem hierher gehörigen Versuch die beiden Metallkapseln aus Zink bestanden, war der untere Theil derselben mit einer Lösung von Zinkvitriol gefüllt und darauf eine Lösung von schwefelsaurer Magnesia gegossen worden. An der Berührungsstelle der beiden Flüssigkeiten wurde nun die eine Glasröhre mit einer Blech-

kapsel umgeben und durch dieselbe Wasserdampf geleitet, um hier eine Temperaturerhöhung zu bewirken. Dabei erfolgte in der That ein Ausschlag der Galvanometernadel, welcher einen Strom anzeigte, der an der erwärmten Berührungsstelle von der schwefelsauren Magnesia zu dem Zinkvitriol ging.

Fig. 557.



An der erwärmten Berührungsstelle der folgenden Lösungen ging der Strom von der einen zur anderen in der Richtung des kleinen Pfeils der folgenden Tabelle und zwar hatte die elektromotorische Kraft den in der letzten Verticalreihe rechts angegebenen Werth, wenn die elektromotorische Kraft eines Kupfer-Neusilberelementes für die gleiche Temperaturdifferenz gleich 1 gesetzt wird.

Kupfervitriol (1·1)	←	schwefelsaures Kali . .	(1·07) . .	5·7
Kupfervitriol (1·1)	←	schwefelsaure Magnesia .	(1·05) . .	4·2
Kupfervitriol (1·1)	←	Zinkvitriol	(1·09) . .	3·6
Kupfervitriol (1·1)	←	Eisenvitriol	(1·07) . .	2·6
Kupfervitriol (1·1)	←	Eisenvitriol	(1·09) . .	1·9
Kupfervitriol (1·1)	←	Zinkvitriol	(1·2) . .	1·5

Die eingeklammerten Zahlen geben das specifische Gewicht der entsprechenden Lösungen an.

Eine concentrirte und eine verdünnte Lösung desselben Salzes giebt bei der Erwärmung der Contactstelle einen schwachen Strom, der hier von der verdünnten zur concentrirten Lösung geht.

Thermo-elektrisches Verhalten der Flamme. Mehrere 180
Physiker, wie Becquerel, Buff u. A., haben nachgewiesen, dass die Gase der Flamme im Stande sind, den elektrischen Strom zu leiten. Es lässt sich dies am einfachsten zeigen, wenn man die beiden Poldrähte einer Säule, in deren Schliessungsbogen ein Multiplicator eingeschaltet ist, von entgegengesetzter Seite her in gleicher Höhe in die Flamme einsenkt, aber so, dass sie nicht in Berührung kommen. Es erfolgt eine je nach den Umständen grössere oder geringere Ablenkung der Multiplicatornadel. Das Maximum der Leitungsfähigkeit zeigt die Flamme etwas unter ihrer Spitze, aber selbst noch etwas über der Spitze sind die von der Flamme aufsteigenden warmen Gase leitend.

Werden zwei Platindrähte, die mit den Drahtenden eines Multiplicators leitend verbunden sind, ohne dass sich eine Säule im Schliessungsbogen befindet, von entgegengesetzter Seite her, in gleicher Höhe, gleich tief in die Flamme eingetaucht, so zeigt sich kein Strom, so lange die beiden Platindrähte gleich warm sind; ist aber der eine Platindraht

heisser als der andere, wie es z. B. der Fall sein wird, wenn man auf der einen Seite einen dünnen, auf der anderen Seite aber einen dickeren Platindraht in die Flamme hält, so zeigt der Multiplicator sogleich einen Strom an, der offenbar nur ein thermo-elektrischer Strom sein kann. Die erhitzte Gasschicht, welche sich hier zwischen den ungleich heissen Drahtstücken befindet, verhält sich offenbar gerade so, wie ein aus einem Metall a gebildeter Stab, an dessen beide Enden Drähte eines anderen Metalls b angelöthet sind.

Auf dieses Verhalten erhitzter Gase führt nun Wild (Pogg. Annal. CXI) die unipolare Erwärmung der positiven Kohlenspitze beim galvanischen Flammenbogen, die wir bereits im §. 119 kennen lernten, zurück. Wenn sich die erhitzten Gase zwischen den Kohlenspitzen wie metallische Leiter verhalten und wenn sie ausserdem noch eine extreme Stellung in thermo-elektrischer Beziehung einnehmen, so muss in Folge der in §. 178 besprochenen secundären thermischen Wirkung des hydroelektrischen Stromes an der einen Kohlenelektrode eine Erhöhung, an der anderen eine Erniedrigung der Temperatur unter diejenige stattfinden, welche in Folge der primären Wirkung des Stromes allein hier auftreten würde.

Wenn diese Ansicht richtig ist, so muss ein thermo-elektrischer Strom entstehen, wenn man nach Unterbrechung des Hydrostromes, welcher den Flammenbogen erzeugte, rasch die positive Polspitze mit dem einen, die negative aber mit dem anderen Drahtende eines Galvanometers verbindet, und zwar muss dieser Strom die Luftschicht zwischen den Kohlenspitzen in entgegengesetzter Richtung durchlaufen, wie der ursprüngliche Hydrostrom. Als Wild diesen Versuch mit einem Spiegelgalvanometer anstellte, zeigte sich nicht allein dieser Thermostrom, sondern er war auch stark genug, um einen über die Gränze der Scala hinausgehenden Ausschlag zu bewirken, dessen Richtung in der That einen positiven Strom andeutete, welcher von der kälteren Kohlenspitze durch die Luftschicht zur wärmeren überging.

181 **Theorie der Thermo-Elektricität.** Die Ansichten über die Ursache der thermo-elektrischen Erscheinungen sind noch durchaus nicht geklärt, weshalb wir ihrer Erörterung nur einen beschränkten Raum gewähren können.

Schon im §. 174 haben wir die Grundzüge jener älteren, aber heute noch verbreiteten Theorie mitgetheilt, welche in der Thermo-Elektricität nur eine Verallgemeinerung der Contactelektricität erblickt. Nach dieser Theorie wird angenommen, dass die Höhe des Potentials zu beiden Seiten der Contactstelle (Löthstelle) eines Thermoelementes AB, Fig. 558, sowie die Differenz dieser Potentialhöhen von der Höhe der Temperatur an den Contactstellen abhängen. Demnach wären also die Werthe der Potentialdifferenz an den beiden Contactstellen m und n, Fig. 558, beispielsweise gegeben durch $V_b - V_a = v$ und $V'_b - V'_a = v'$.

Circulirt der Strom in der Richtung des Pfeiles, so ist die elektromotorische Kraft des Thermoelementes

$$E = v' - v.$$

Setzt man nun

$$v = a + \beta T + \gamma T^2$$
$$v' = \alpha + \beta T' + \gamma T'^2,$$

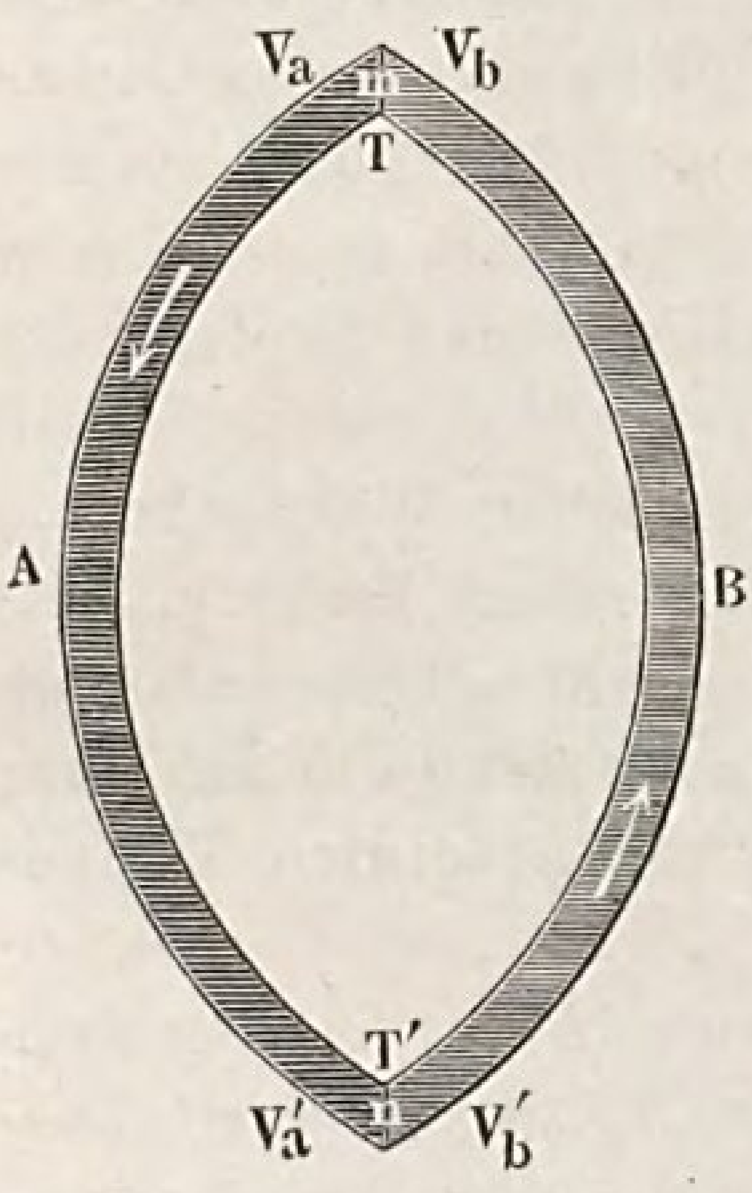
so folgt, wie bereits im §. 174 entwickelt wurde, die Gleichung

$$E = (T' - T)\left(\beta + 2\gamma \frac{T' + T}{2}\right),$$

welche mit den Erscheinungen im Einklange steht.

Um das Peltier'sche Phänomen zu erklären, muss man dann annehmen, dass beim Durchleiten eines Stromes von der Stärke J durch die Contactstelle n von A nach B die Elektricitätsmenge J in der Zeiteinheit von dem niedrigeren Potentialniveau V'_a auf das höhere V'_b, also um die Potentialdifferenz v' gehoben werde, was einer Arbeitsleistung Jv', also einem äquivalenten Wärmeaufwand AJv' entspricht, wenn wir mit A das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit bezeichnen. Diese Wärme muss also der Umgebung entzogen werden, wodurch die Contactstelle n abgekühlt wird. An der anderen Contactstelle m stürzt per Zeiteinheit die Elektricitätsmenge J von dem höheren Potentialniveau V_b auf das niedrigere V_a hinab und entwickelt daher eine der Absturzhöhe v entsprechende Wärmemenge $= AJv$, welche die Temperatur der Contactstelle m erhöht.

Fig. 558.



Das Thermoelement kann demnach, wie R. Clausius gezeigt hat, als eine thermodynamische Maschine betrachtet werden, welche Arbeit in Form eines elektrischen Stromes leistet. An der Löthstelle n wird bei der Temperatur T' eine Wärmemenge AJv' zugeführt und dazu verbraucht, um die Arbeit zu leisten, die in der Hebung der Elektricitätsmenge J auf die Potentialstufe v' besteht; an der Löthstelle m muss, wenn der Strom constant fortdauern soll, die niedrigere Temperatur T erhalten werden, was durch Wegführung der Wärmemenge AJv geschieht, welche durch das Sinken der Elektricität J um die Potentialstufe v frei wird. Die Differenz dieser Wärmemengen $AJ(v' - v)$ ist in Stromarbeit verwandelt worden, welche selbst wiederum, wenn nicht etwa andere Arbeit damit geleistet wird, in Form von Joule'scher Wärme im ganzen Stromkreise wiederum zum Vorschein kommt. Man sieht also, dass auch bei dieser thermodynamischen Maschine derselbe Grundsatz gilt, welchen wir im Bd. II, 2, §. 97 kennen lernten, dass, wenn ein Wärmequantum in Arbeit

verwandelt werden soll, ein anderes Wärmequantum von einem wärmeren in einen kälteren Körper übergehen muss.

Aus den Ableitungen jenes §. 97 geht aber auch hervor, dass, wenn in einer vollkommenen thermodynamischen Maschine bei der absoluten Temperatur T' die Wärme Q' zugeführt, bei T die Wärme Q abgeführt und die Differenz $Q' - Q$ in Arbeit verwandelt wird, dass dann

$$Q : Q' = T : T'.$$

Hieraus folgt also auch, da beim Thermoelement $Q = AJv$, $Q' = AJv'$:

$$v : v' = T : T',$$

also die elektromotorische Kraft

$$\varepsilon = v' - v \text{ proportional } T' - T,$$

mithin müsste auch die Stromstärke der Differenz der Temperaturen der Löthstellen proportional sein. Wir haben oben gezeigt, dass dies nur bedingungsweise und annähernd der Fall ist. Thomson und Clausius selbst haben daher die obige Theorie dahin modificirt, dass sie die Quelle der Elektricität nicht allein in die Löthstelle, sondern auch in das Innere der Metalle verlegten, welche an verschiedenen Stellen verschiedene Temperaturen haben.

Dagegen hat sich eine andere aus der mechanischen Wärmetheorie abgeleitete Beziehung bestätigt. Für den Peltier'schen Versuch, welcher als eine umgekehrt wirksame thermodynamische Maschine aufzufassen ist, ergiebt sich nämlich, dass bei gleicher Stromstärke die an einer Löthstelle bewirkte Erwärmung oder Abkühlung der absoluten Temperatur proportional sein muss.

Nun hat, wie wir §. 174 mitgetheilt, Le Roux in der That gefunden, dass für die Celsiustemperaturen 25⁰ und 100⁰, welche den absoluten Temperaturen 298⁰ und 373⁰ entsprechen, diese Wärmewirkungen sich verhalten wie 1 : 1·29, das Verhältniss 298 : 373 ist aber gleich 1 : 1·251.

Die vorgetragene Contacttheorie der Thermo-Elektricität muss natürlich aufgegeben werden, wenn die Contacttheorie des Galvanismus überhaupt fallen gelassen wird. Die Berührung allein kann dann nicht mehr als die Ursache der Strombildung betrachtet werden, man muss vielmehr die Wärmevorgänge im ganzen Thermoelement zur Erklärung herbeiziehen. Fr. Kohlrausch hat nun 1874, einer früher von L. Hermann stammenden Idee folgend, eine neue Theorie der Thermo-Elektricität veröffentlicht (Göttinger Nachrichten 1874, Pogg. Ann. 156), welche auf der Hypothese beruht, dass mit jedem Wärmestrome in bestimmtem, von der Natur des Leiters abhängigem Maasse ein elektrischer Strom verbunden sei, wozu dann zur Erklärung des Peltier'schen Phänomens noch die Zusatzhypothese zu setzen ist, dass durch den elektrischen Strom die Wärme bewegt werde.

Mit Zugrundelegung dieser Hypothesen, deren Annahme keine wesentliche Hindernisse im Wege stehen, lassen sich nun die thermoelektrischen Erscheinungen, ungefähr wie folgt, erklären.

Es sei LL', Fig. 559, ein Stück Leiter, bei a und b im Abstande σ je ein Querschnitt vom Flächeninhalte q, die Temperaturen daselbst seien T' und T, wobei $T' > T$, es sei c das elektrische, k das thermische Leitungsvermögen des Körpers, r der Leitungswiderstand des Stückes zwischen a und b. In Folge der Temperaturdifferenz $T' - T$ fliesst per Zeiteinheit eine Wärmemenge W von a nach b, diese Wärmebewegung rufe eine gleichzeitige Bewegung einer proportionalen Menge J von (positiver oder negativer) Elektricität hervor. Es ist also die Stromstärke

$$J = \alpha W,$$

wo α eine Constante ist, die von der Natur des Leiters abhängt.

Der Widerstand r von a bis b ist ausgedrückt durch

$$r = \frac{\sigma}{q\,c},$$

die Potentialdifferenz für die beiden Querschnitte a und b, d. i. die elektromotorische Kraft des Stromes J, ist daher

$$\varepsilon = Jr = \frac{\alpha\,\sigma\,W}{q\,c}.$$

Andererseits ist die Wärmemenge W nach den Gesetzen der Wärmeleitung

$$W = \frac{k\,q\,(T' - T)}{\sigma},$$

mithin

$$\varepsilon = \frac{\alpha\,\sigma}{q\,c} \cdot \frac{k\,q\,(T' - T)}{\sigma} = \frac{\alpha\,k}{c}\,(T' - T) = \vartheta\,(T' - T),$$

Fig. 560.

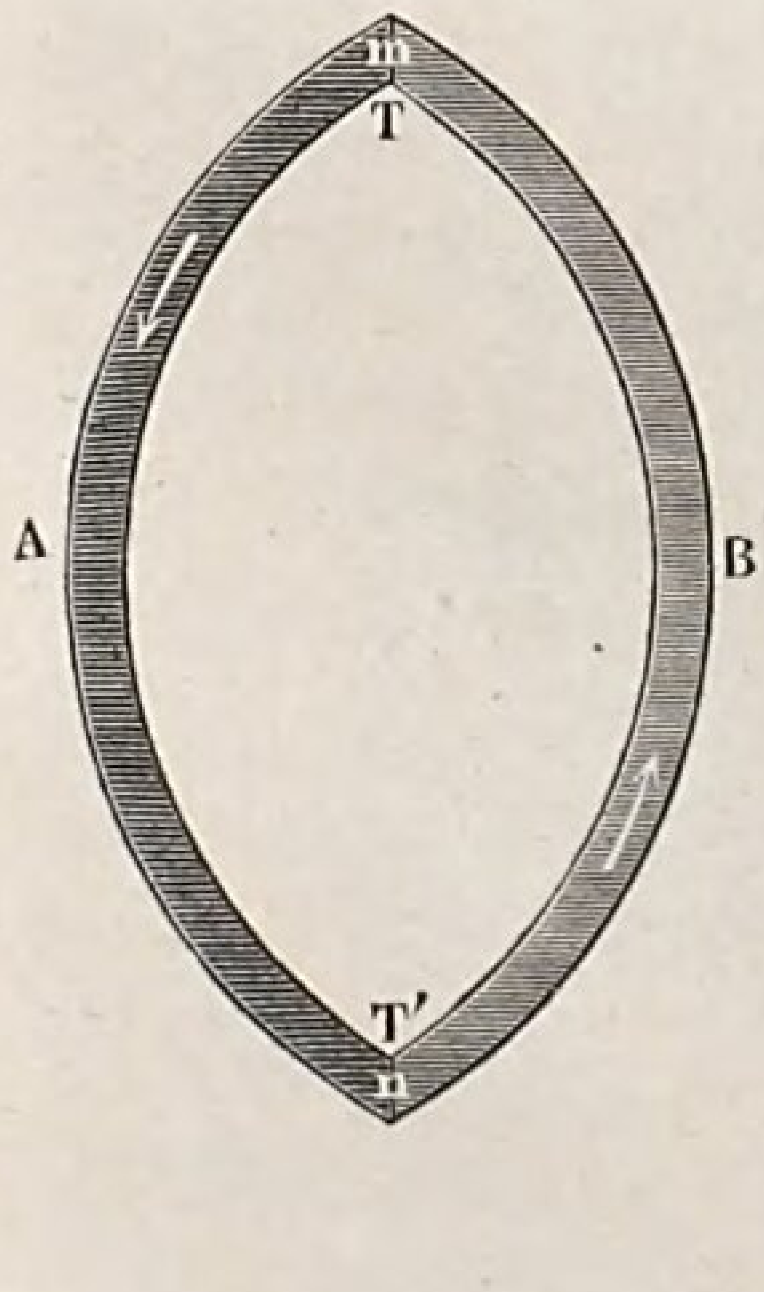
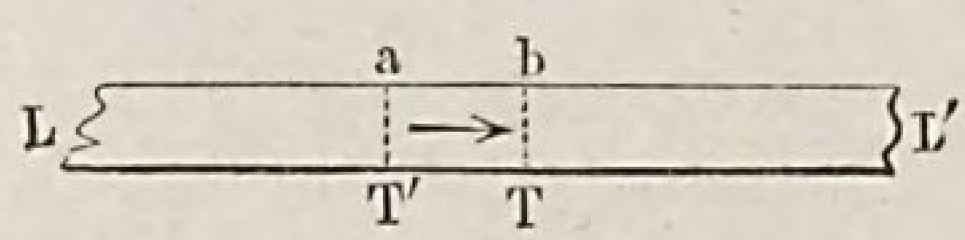


Fig. 559.



wenn wir den Factor $\frac{\alpha\,k}{c}$ mit ϑ bezeichnen und die thermoelektrische Constante des Körpers nennen. Daraus folgt also, dass in jedem Leiter, der an zwei Stellen eine ungleiche Temperatur besitzt, eine dieser Temperaturdifferenz proportionale Potentialdifferenz auftritt, welche freilich experimentell schwer nachzuweisen ist. Ein dauernder Strom kann jedoch nicht daraus entstehen, da die Elektricitäts-

bewegung aufhören muss, sobald diese Potentialdifferenz erreicht ist. Von einem Leiter zum anderen ist dagegen diese Wirkung verschieden gross, weil von der Constante ϑ des Leiters abhängig. Jetzt denken wir uns zwei Leiter A und B, Fig. 560 (a. v. S), zu einem Thermoelement verbunden. Bei m und n seien wieder die Temperaturen T und T', ϑ_a und ϑ_b seien die zugehörigen Constanten, und es sei $\vartheta_b > \vartheta_a$. In beiden Leitern strömt die Wärme von T' nach T. Dabei weckt dieser Wärmestrom in A einen elektrischen Strom mit der elektromotorischen Kraft $\varepsilon_a = \vartheta_a\ (T' - T)$, in B einen solchen mit der elektromotorischen Kraft $\varepsilon_b = \vartheta_b\ (T' - T)$. Diese elektromotorischen Kräfte subtrahiren sich im ganzen Kreise und es erübrigt daher die resultirende elektromotorische Kraft

$$E = (\vartheta_b - \vartheta_a)\ (T' - T),$$

dieselbe ist von der erwärmten Löthstelle gegen den Leiter mit der grösseren thermo-elektrischen Constante gerichtet.

Um zu erklären, dass die elektromotorische Kraft nicht genau der Temperaturdifferenz proportional ist und von der absoluten Höhe der Mitteltemperatur abhängt, ist nur nöthig anzunehmen, dass der Werth von ϑ wie so viele andere physikalische Eigenschaften mit der Temperatur sich ändern. F. Kohlrausch hat an der citirten Stelle dann auch gezeigt, wie sich das Peltier'sche Phänomen mit Hülfe der zweiten oben angeführten Hypothese erkläre, und dass seine Theorie mit dem Princip der Erhaltung der Energie im Einklange stehe.

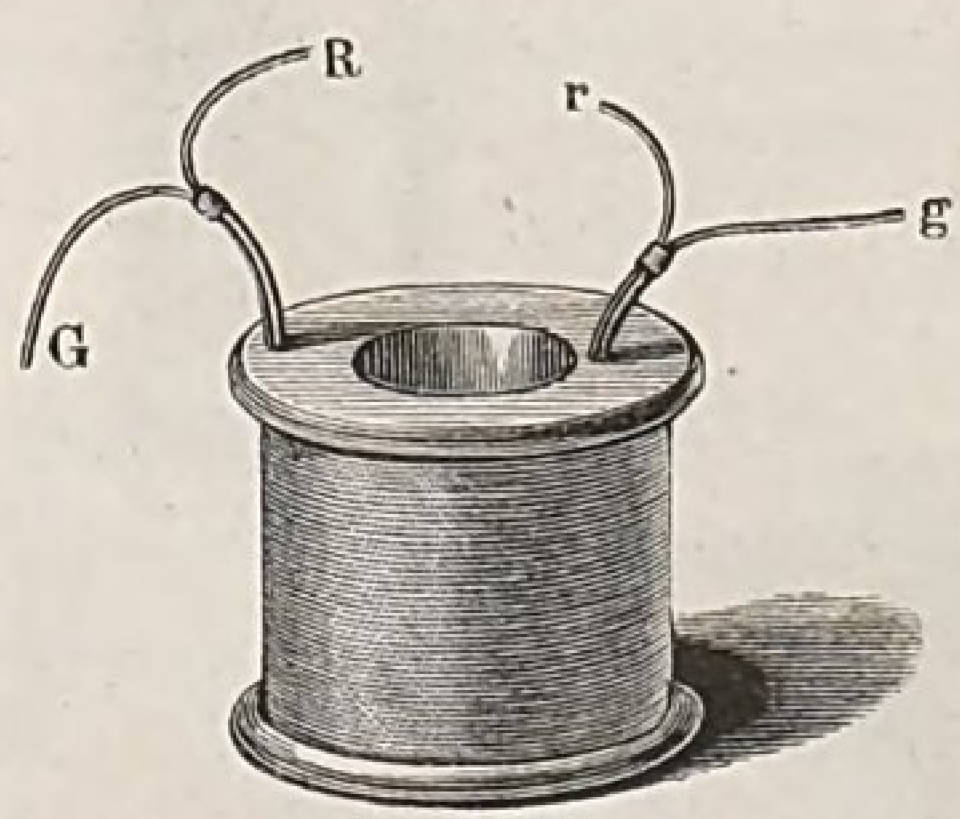
A. v. Waltenhofen hat dann später (Wien. Akad. Ber. Bd. 75, S. 245, 1877) theoretische Einwände gegen die frühere, und experimentelle Belege zu Gunsten der neuen Theorie veröffentlicht, welche wir hier wegen Raummangel nicht näher besprechen können.

Sechstes Capitel.

Inductionserscheinungen.

Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen in sich geschlossenen leitenden Kreis. Bei der auffallenden Analogie, welche zwischen den Wirkungen von Magneten und von Kreisströmen besteht, war es zu erwarten, dass der influenzirenden Wirkung des Magnets auf nicht magnetisches Eisen auch eine Influenzwirkung von Seite eines stromdurchflossenen Leiterkreises oder eines Magnets auf einen kreisförmigen Stromleiter gegenüberstehen werde. Dennoch wollte es lange nicht gelingen, eine solche Wirkung zu beobachten, bis endlich Faraday 1831 eine Reihe von einschlägigen Erscheinungen entdeckte, welche unter dem Namen Inductionserscheinungen zusammengefasst werden. Wir wollen zunächst die einfachste derselben beschreiben. Auf eine Spule von Holz seien zwei mit Seide (der eine etwa mit rother, der andere mit grüner) überzogene Kupferdrähte so aufgewickelt, wie man Fig. 561 sieht. Der eine Draht läuft neben dem anderen her, ohne dass 182

Fig. 561.



eine leitende Verbindung zwischen ihnen stattfindet. Wenn man nun mit dem einen Draht (etwa dem roth übersponnenen) eine galvanische Säule schliesst, indem man seine beiden Enden R und r mit den Polen derselben in Verbindung setzt, so circulirt in diesem Drahte der Strom, ohne dass er jedoch auf den anderen Draht übergehen könnte. Wir wollen den Draht Rr, welcher den Schliessungsbogen der Säule bildet, den Hauptdraht, den anderen den Nebendraht nennen. — Verbindet man die Enden G und g

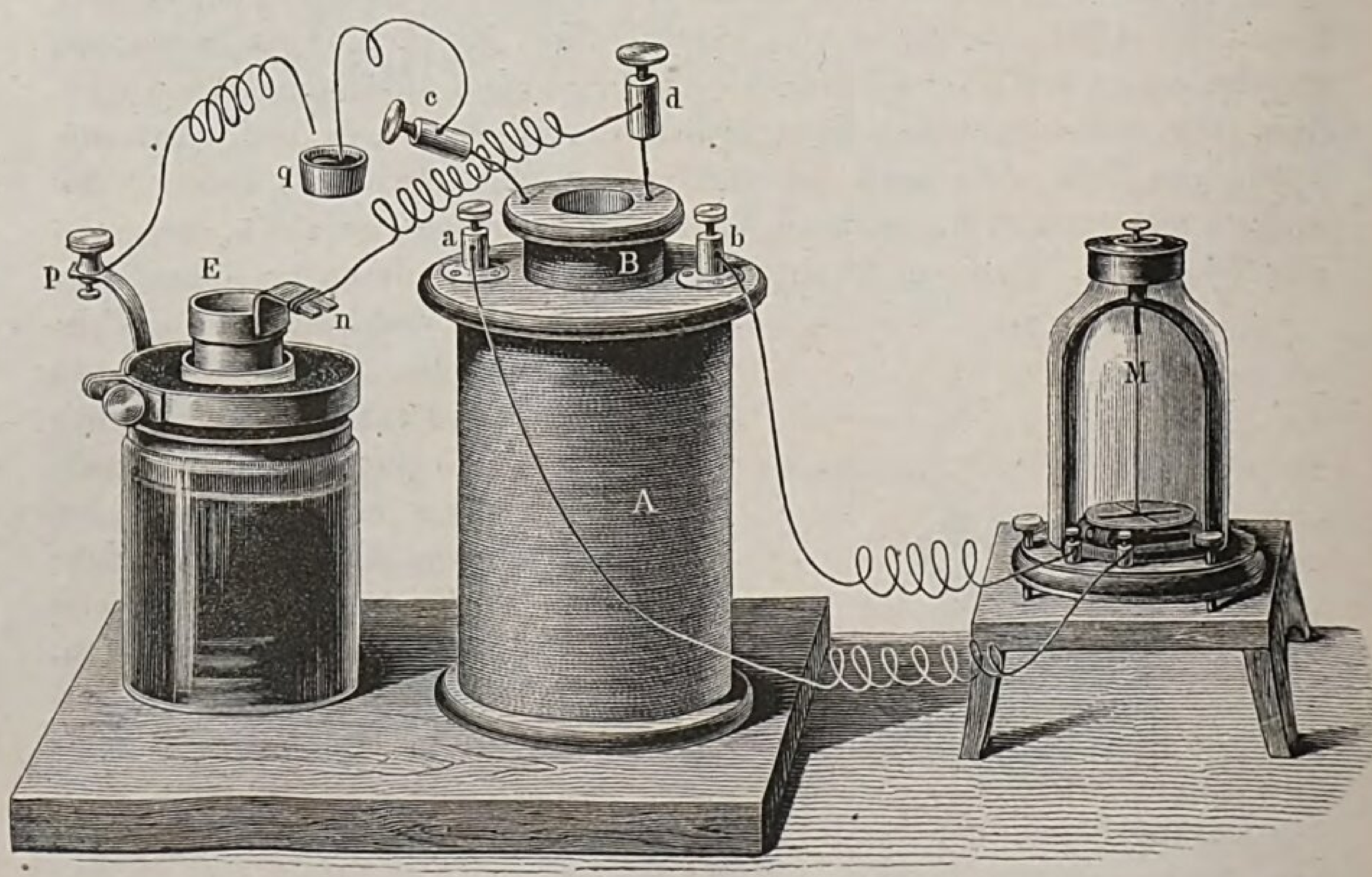
des Nebendrahtes mit den Drahtenden eines Multiplicators, so erfolgt eine Ablenkung der Nadel, sobald man die Kette mit dem Hauptdraht schliesst, und zwar ergiebt sich aus der Seite, nach welcher diese Ablenkung erfolgt, dass der Strom im Nebendraht die entgegengesetzte Richtung von dem im Hauptdraht beginnenden hat.

Dieser Strom im Nebendraht ist jedoch nicht andauernd, denn die Multiplicatornadel kehrt nach einigen Schwingungen wieder zum Nullpunkte der Theilung zurück und bleibt ruhig auf demselben stehen, so lange der primäre Strom in gleichmässiger Stärke den Hauptdraht durchläuft; sobald aber der Hauptstrom unterbrochen wird, schlägt die Galvanometernadel nach der entgegengesetzten Richtung aus, sie zeigt also nun einen Strom, der den Nebendraht in derselben Richtung durchläuft, in welcher der eben unterbrochene Hauptstrom sich bewegt hatte.

Diese Strombildung in einem geschlossenen Leiter durch die Einwirkung eines benachbarten Stromes wird nach Faraday's Vorschlag mit dem Namen der Induction oder auch der Volta-Induction bezeichnet. Ein galvanischer Strom inducirt also in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen Strom von entgegengesetzter Richtung im Moment seines Entstehens, einen gleich gerichteten im Moment seines Aufhörens.

Es ist keineswegs nöthig, dass die beiden Drähte in der angegebenen Weise neben einander auf derselben Spule aufgewunden sind, sie können auch auf verschiedenen Spulen von ungleichem Durchmesser auf-

Fig. 562.



gewunden sein, so dass sich die eine Drahtspule in die andere hineinschieben lässt, wie dies Fig. 562 dargestellt ist. *A* ist die aus vielen Windungen eines dünnen (ungefähr $\frac{1}{2}$ mm dicken), mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes gebildete Neben- oder Inductionsspirale. Die Drahtenden dieser Spirale sind mit den Klemmschrauben *a* und *b* versehen, von welchen aus Leitungsdrähte zu den Drahtenden des Multiplicators *M* geführt sind.

In die Höhlung der Inductionsspirale *A* ist nun die Hauptspirale *B* eingeschoben, welche durch die weniger zahlreichen Windungen eines dickeren (ungefähr 2 mm) Kupferdrahtes gebildet wird. Die Drahtenden der Hauptspirale sind mit den Klemmschrauben *c* und *d* versehen, in welche die zu den Polen des Rheomotors führenden Drähte eingeschraubt werden können.

In unserer Figur sind die Spiralen *A* und *B* im Verhältniss zum Elemente *E* und zum Multiplicator *M* zu gross dargestellt. Der Multiplicator *M* muss bei Anstellung des Versuches hinreichend weit weggestellt sein, damit der Strom in der Spirale *B* nicht direct auf die Nadel des Multiplicators einwirken kann.

So oft man nun die Verbindung zwischen der Spirale *B* und einem der Pole des Elektromotors *E* unterbricht, wird die Multiplicatornadel nach einer bestimmten Richtung abgelenkt. Ist die Nadel wieder zur Ruhe gelangt, so erfolgt ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Richtung, wenn die unterbrochene Verbindung zwischen der Hauptspirale und dem Elektromotor wieder hergestellt wird.

Um die Verbindung zwischen der Hauptspirale und dem Elektromotor bequem herzustellen und unterbrechen zu können, schaltet man auf dem Wege von dem einen Pole der Säule zur einen Klemmschraube der Hauptspirale, also etwa zwischen *n* und *d*, ein Quecksilbernäpfchen ein. Ist der von *n* kommende Draht in das Näpfchen eingetaucht, so wird der Strom geschlossen, wenn man den in *d* eingeschraubten Zuleitungsdraht gleichfalls in das Quecksilber eintaucht, er wird unterbrochen, wenn man ihn herauszieht.

Wenn ein Strom im Hauptdraht circulirt, so bewirkt jede plötzliche Verstärkung desselben die Induction eines entgegengesetzt gerichteten Stromes im Nebendraht, während eine plötzliche Abnahme der Stromstärke im Hauptdraht einen gleichgerichteten Strom im Nebendraht inducirt.

Ebenso wie eine Zu- oder Abnahme der Stromstärke im Hauptdraht wirkt nun auch eine Annäherung oder Entfernung des durchströmten Hauptdrahtes vom Nebendraht. — Um dies zeigen zu können, müssen die Verbindungsdrähte *nd* und *pc* lang genug sein, um die Hauptspirale *B* ohne Unterbrechung des Hauptstromes bequem aus der Höhlung der Nebenspirale ausziehen und einschieben zu können.

Wenn man die durchströmte Hauptspirale rasch in die Höhlung der Nebenspirale einschiebt, so zeigt die Ablenkung der Multi-

plicatornadel einen dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichteten Strom in der Nebenspirale an; wenn dagegen die durchströmte Hauptspirale aus der Nebenspirale herausgezogen wird, so inducirt sie im Nebendraht einen dem Hauptstrom gleichgerichteten Strom.

Man kann zu diesem Versuch auch sehr bequem den später zu besprechenden Schlittenapparat von Du Bois Reymond anwenden. Wenn die Enden einer der Buff'schen Bandspiralen, Fig. 490, S. 559, mit dem Multiplicator, die Enden der anderen mit den Polen eines Bunsen'schen Bechers verbunden sind, so braucht man nur die durchströmte Bandspirale der anderen zu nähern oder von derselben zu entfernen, um die dadurch inducirten Ströme am Multiplicator beobachten zu können.

Ueberhaupt wird in jedem geschlossenen Leiter ein Strom inducirt, wenn man die Stellung eines in seiner Nähe befindlichen durchströmten Leiters verändert. Die Richtung des inducirten Stromes ist durch das folgende von Lenz ausgesprochene Gesetz bestimmt: Wird die relative Lage zweier Leiter A und B, von denen der erste A von einem Strom durchflossen ist, geändert, so wird in B ein Strom von solcher Richtung inducirt, dass er durch seine elektrodynamische Wirkung auf den Strom in A den Leitern eine Bewegung ertheilt haben würde, welche derjenigen entgegengesetzt ist, durch welche der Inductionsstrom hervorgerufen wurde.

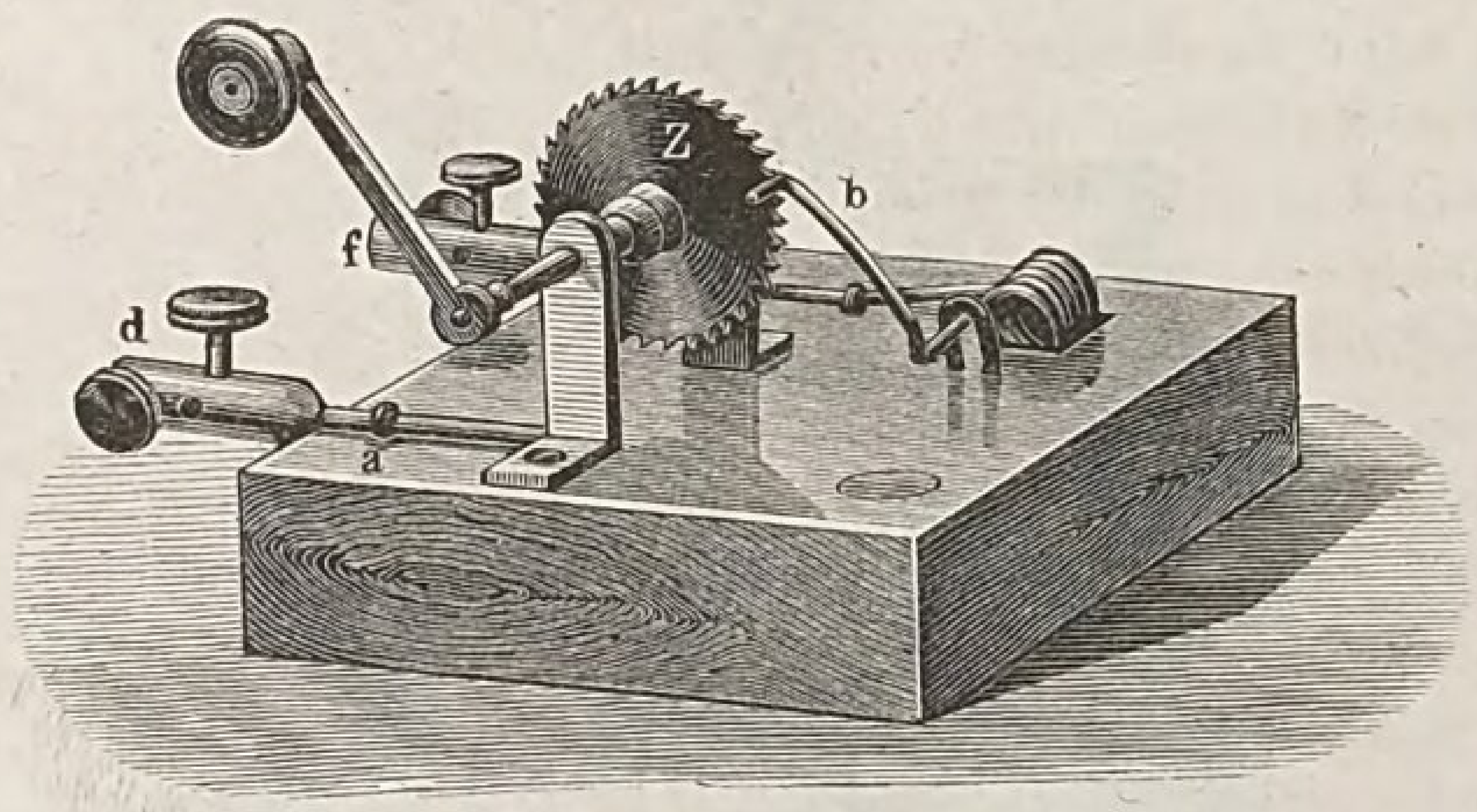
Die Existenz der Inductionsströme und ihre Richtung lässt sich, wie wir gesehen haben, dadurch nachweisen, dass man ein Galvanometer zur Schliessung der Nebenspirale anwendet; diese Inductionsströme bringen aber auch alle anderen Erscheinungen galvanischer Ströme, vor allen Dingen aber sehr kräftige physiologische Wirkungen hervor. Um die Schläge der Inductionsströme durch den Körper gehen zu lassen, braucht man bloss die Drahtenden der Nebenspirale mit metallenen Griffen zu versehen und diese in die etwas befeuchteten Hände zu nehmen. So oft nun der Hauptstrom geöffnet oder geschlossen wird, erhält man einen Schlag.

183 **Unterbrechungs-Vorrichtungen.** Um die physiologische Wirkung recht fühlbar zu machen, muss man eine Reihe von Oeffnungs- und Schliessungsschlägen in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper senden. Man hat zu diesem Zwecke verschiedene Vorrichtungen construirt, welche man Rheotome nennen kann und von denen wir die zweckmässigsten näher betrachten wollen.

Das einfachste Rheotom ist wohl das Unterbrechungsrad, Fig. 563. Auf einem Holzklotz stehen zwei Messingpfeiler, welche die metallene Axe eines messingenen Zahnrades Z tragen, dessen Zähne so geschnitten sind, wie die Zähne des Steigrades einer gewöhnlichen Pendeluhr. An dem einen Messingpfeiler ist der Kupferdraht a befestigt, während ein zweiter Kupferdraht b federnd gegen das Rad drückt. Um

das Unterbrechungsrad sammt der Hauptspirale in den Schliessungsbogen des elektromotorischen Bechers einzuschalten, braucht man nur das eine

Fig. 563.



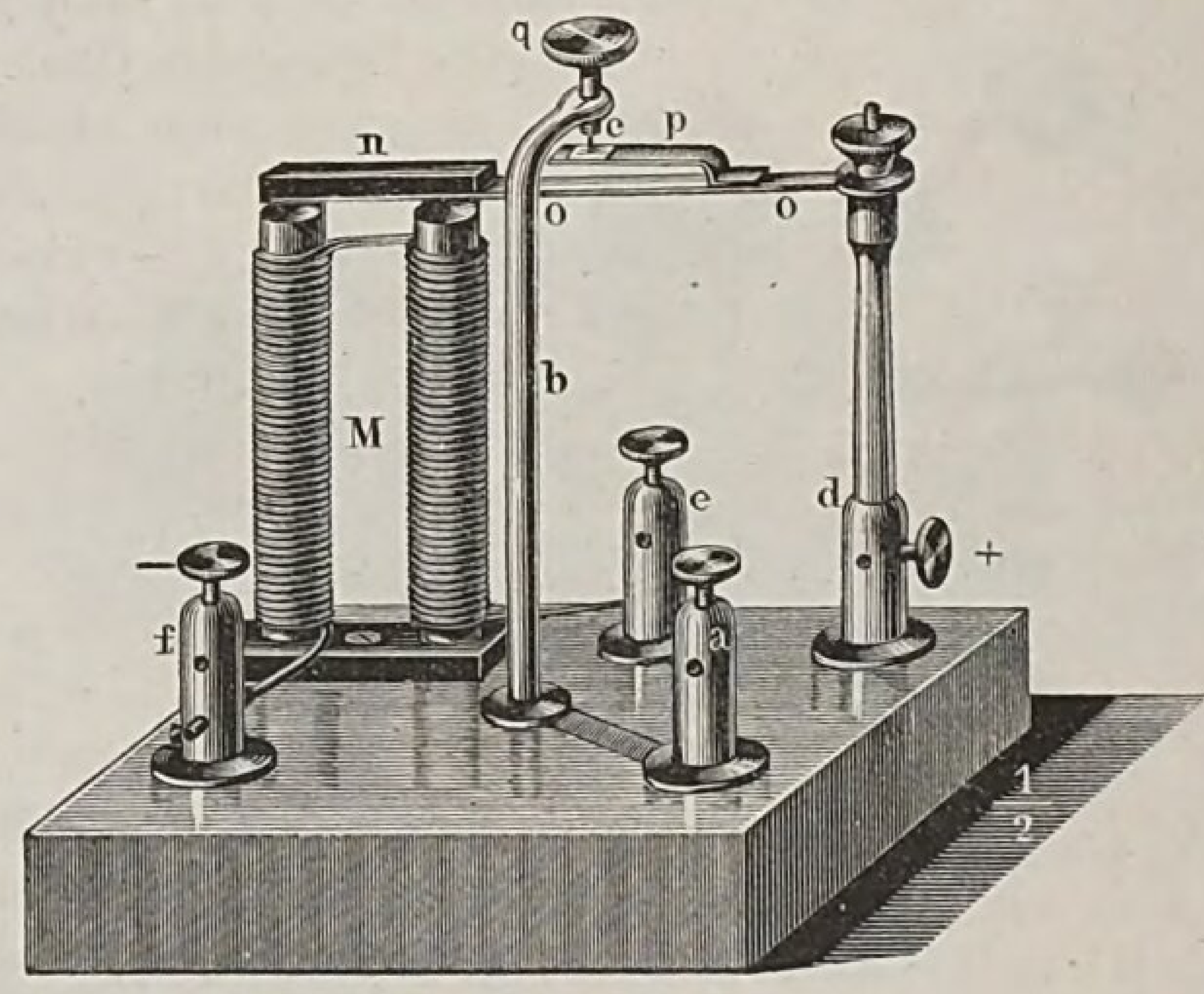
Ende der Spirale mit dem positiven Pole des Bechers, das andere mit der Schraubklemme *d* zu verbinden und dann von der Schraubklemme *f* einen Draht zum negativen Pole des Elektromotors zu führen. So oft nun bei Umdrehung des Rades der federnde Draht *b* von einem Zahne zum andern überspringt, erfolgt ein Oeffnen und ein alsbaldiges Wiederschliessen der Kette.

Eine zweite Hauptform des Rheotoms ist der von De la Rive in Genf, und unabhängig davon von Wagner in Frankfurt a. M. erfundene magnetische Hammer, bei welchem die Unterbrechung mittelst eines Elektromagnets durch den Hauptstrom selbst bewirkt wird. Ursprünglich war der magnetische Hammer mit dem Inductionsapparate zu einem untrennbaren Ganzen vereinigt worden, wie wir dies bei einem später zu beschreibenden Apparate sehen werden; der magnetische Hammer kann aber auch als eine ganz selbstständige Unterbrechungsvorrichtung construirt werden, so dass man ihn von dem einen Apparate wegnehmen und mit einem anderen verbinden kann, wie dies auch mit dem Unterbrechungsrade der Fall ist. Fig. 564 (a. f. S.) stellt einen solchen, einen selbstständigen Apparat bildenden magnetischen Hammer dar, und zwar mit jenen Verbesserungen, welche Poggendorff daran angebracht hat.

Der eine Poldraht des Rheomotors, etwa der positive, wird in das Messingsäulchen *a*, der andere in *f* eingeschraubt, während das eine Drahtende der Hauptspirale des Inductionsapparates bei *d*, das andere bei *e* eingeschraubt wird. Der Strom geht nun von *a* durch einen in das Holz eingelassenen Messingstreifen zur Messingsäule *b*, dann durch die Platinspitze *c* auf ein Platinplättchen, welches auf die Messingfeder *p* aufgelöthet ist, und dann herab bis *d*, um in die Hauptspirale überzugehen. Aus der Hauptspirale gelangt dann der Strom über das Säulchen *e* in die Windungen des Elektromagnets *M* und aus diesen zum Säulchen *f*, in welches der andere Pol des elektromotorischen Bechers eingeschraubt ist.

Sobald der Strom die Windungen des Elektromagnets *M* durchläuft, wird dessen Eisenkern magnetisch, so dass er den eisernen Anker *n* an-

Fig. 564.



zieht, welcher auf dem einen Ende der messingenen Feder *o* befestigt ist; durch das Niederziehen des Ankers *n* wird auch *p* mit seinem Platinplättchen etwas niedergezogen und dadurch die Berührung zwischen diesem Platinplättchen und der Platinspitze *c* aufgehoben, was dann auch eine Unterbrechung des Stromes in der Hauptspirale und in den Windungen des Elektromagnets *M* zur Folge hat.

Mit der Unterbrechung des Stromes verliert auch der Elektromagnet *M* seinen Magnetismus und die Kraft der Feder *o* zieht dann sogleich den Anker *n* wieder in die Höhe, wodurch dann zugleich auch die metallische Berührung bei *c* wieder hergestellt wird und das eben beschriebene Spiel von Neuem beginnt.

Die Unterbrechungen des Stromes folgen sich hier mit solcher Schnelligkeit, dass man die einzelnen Vibrationen der Feder nicht wahrnehmen kann, dass man dagegen ein continuirliches Summen hört, während man an der Spitze bei *c* ein glänzendes, continuirlich erscheinendes Fünkchen beobachtet.

Die Platinspitze *c* ist am unteren Ende einer Schraube angebracht, durch deren Drehung man den Abstand des Ankers *n* von den Polen des Elektromagnets reguliren kann, so dass man es in der Gewalt hat, das Spiel der Unterbrechungen nach Belieben schneller oder langsamer zu machen.

Ursprünglich wurde das Platinplättchen, auf welches die Platinspitze *c* zu stehen kommt, unmittelbar auf der Feder *o* angebracht, was zur Folge hatte, dass in dem Moment, in welchem der Anker *n* niederzugehen begann, auch sogleich die Unterbrechung des Stromes stattfand, dass also

während der Oscillationen des Hammers der Strom nur momentan geschlossen blieb, während er dagegen längere Zeit unterbrochen war. — Nun aber ist es für den Effect der Inductionsapparate weit vortheilhafter, dass bei gleicher Oscillationsgeschwindigkeit des Hammers der Strom längere Zeit geschlossen bleibe und nur momentan unterbrochen werde. Poggendorff hat dies durch die zweite Feder *p* erreicht, welche so justirt ist, dass sie die Platinplatte noch mit einiger Federkraft gegen die Platinspitze *c* andrückt, wenn die Feder *o* in ihrer Gleichgewichtslage sich befindet; es hat dies zur Folge, dass der Anker *n* schon eine Strecke abwärts gehen kann, ehe eine Unterbrechung bei *c* erfolgt, und dass das Schliessen des Stromes schon wieder erfolgt, wenn *n* kaum seine aufgehende Bewegung begonnen hat.

Der eiserne Anker *n* darf nicht in unmittelbarer Berührung mit den Polen des Elektromagnets *M* kommen, weil sonst selbst nach Unterbrechung des Stromes der remanente Magnetismus in den Eisenkernen zu stark werden würde, als dass die Feder *o* den Anker *n* wieder in die Höhe ziehen könnte. Bei unserem Apparat wird dies einfach dadurch verhindert, dass die Messingfeder *o* noch so weit reicht, dass sie die Pole des Elektromagnets bedeckt, und dass der Anker *n* auf das freie Ende dieses Messingstreifens aufgesetzt ist, so dass sich stets ein Streifen Messingblech zwischen demselben und den Polen des Elektromagnets *M* befindet.

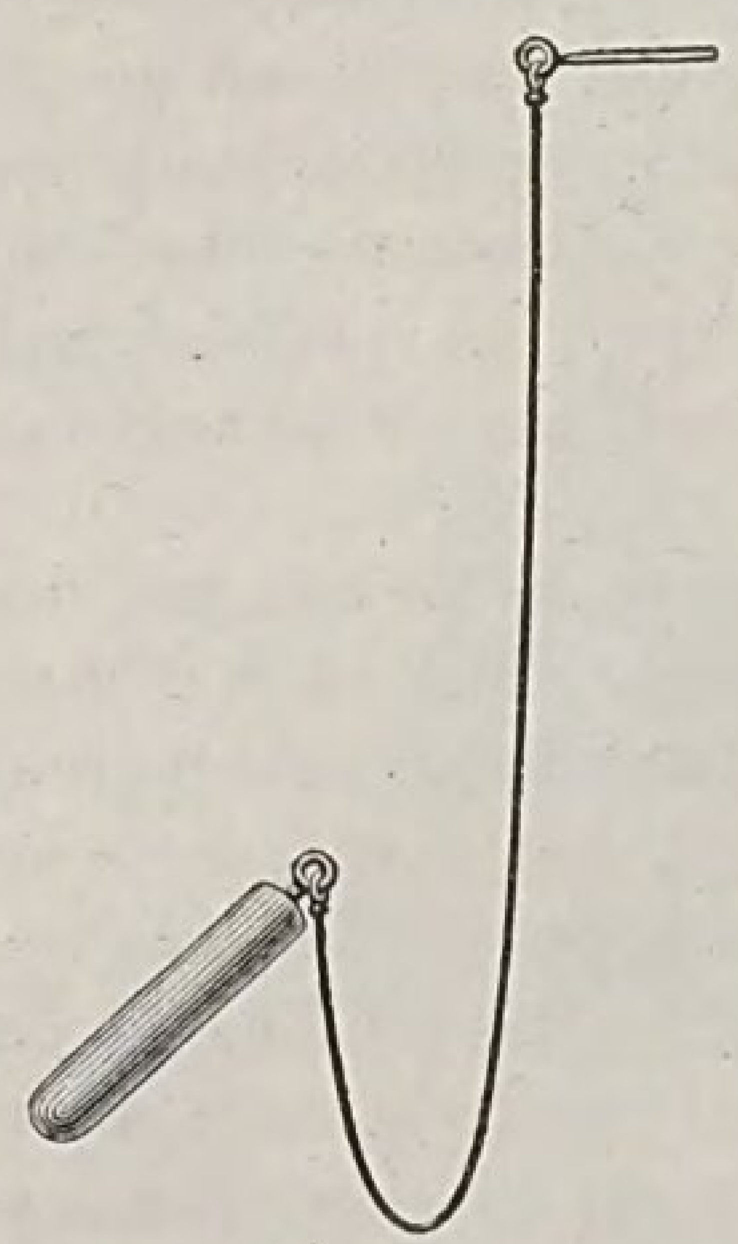
Inductionsapparate für physiologische Zwecke. Es ist 184
bereits bemerkt worden, dass sich die Inductionsströme durch kräftige physiologische Wirkungen auszeichnen, weshalb denn auch die Inductionsapparate für physiologische Untersuchungen sowohl als auch für medicinische Zwecke eine grosse Bedeutung erlangt haben. Man hat deshalb auch Inductionsapparate in verschiedenen Formen construirt, von denen wir nur die einfachsten und zweckmässigsten betrachten wollen.

Um die physiologischen Wirkungen der Inductionsströme in Vorlesungen zu zeigen, kann man sich der schon beschriebenen Drahtspiralen, Fig. 562 Seite 622, bedienen. Zwischen dem Rheomotor *E* und der Hauptspirale *B* wird ein Rheotom, etwa das Unterbrechungsrad, Fig. 563, in der Weise eingeschaltet, dass man den Pol *p*, Fig. 562, mit der Schraubklemme *d*, Fig. 563, die Schraubklemme *c* der Hauptspirale, Fig. 562, aber mit der Schraubklemme *f* des Unterbrechungsrades durch einen Draht verbindet. Ferner wird der Multiplicator *M*, Fig. 562, entfernt und statt dessen in jede der Schraubklemmen *a* und *b* der Nebenspirale *A*, Fig. 562, ein Handgriff von der Fig. 565 (a. f. S.) abgebildeten Einrichtung eingeschraubt. Von dem Metallstifte *s*, welcher in die entsprechende Schraubklemme eingesteckt wird, führt ein Bündel Metallfäden, welches mit Seide oder Wolle übersponnen ist, zu dem hohlen Metallcylinder *m*. Derjenige, welcher die Inductionsströme durch seinen Körper will gehen lassen, fasst mit einer Hand den Handgriff, welcher in *a* eingeschraubt ist, mit der anderen den in *b* eingeschraubten, und

erhält dann die elektrischen Schläge, sobald der Stromunterbrecher in Gang gesetzt wird.

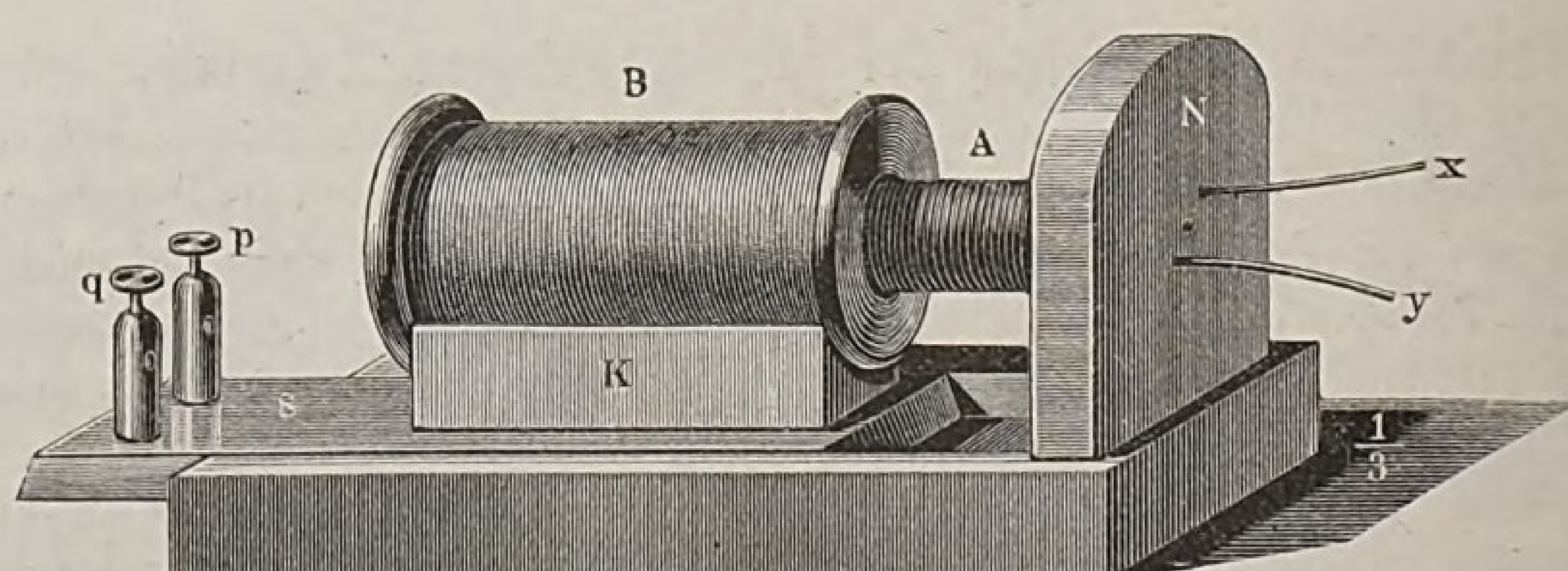
Um die physiologische Wirkung dieser Vorrichtung zu steigern, wird ein Bündel Eisenstäbchen, ungefähr so dick wie ein Strickstock, in die Höhlung der Hauptspirale eingeschoben. Wir werden auf die Wirkung dieser Eisenstäbchen bald ausführlicher zurückkommen.

Fig. 565.



Für praktische Zwecke ist es wünschenswerth, dass Haupt- und Nebenspirale auf geeignete Weise ein- für allemal mit einander verbunden sind. Eine besonders zweckmässige Vorrichtung der Art ist der Schlittenapparat von Du Bois Reymond, welche Fig. 566 dargestellt ist. Die Hauptspirale A ist an einem vertical stehenden Brett N so befestigt, dass ihre Axe horizontal steht; die gleichfalls horizontale Nebenspirale B ist mittelst des Holzklotzes K auf einem Brett S befestigt, welches nach Belieben vor- und rückwärts geschoben werden kann. Wenn das Brett S ganz

Fig. 566.



eingeschoben ist, so ist die Hauptspirale ihrer ganzen Länge nach von der Nebenspirale umgeben, der Strom in der Hauptspirale kann also seine volle Wirkung auf die Nebenspirale ausüben; wenn aber das Brett S mehr und mehr ausgezogen wird, so dass ein Theil der Hauptspirale frei ist, wie die Figur zeigt, so kann der Strom in der Hauptspirale nur noch schwach inducirend auf die Nebenspirale wirken. Auf diese Weise ist man also durch Vor- und Rückwärtsschieben des Brettes S im Stande, die Stärke der Inductionsströme nach Belieben zu reguliren.

Die Drahtenden x und y der Hauptspirale werden mit dem Elektromotor und dem Rheotom in Verbindung gesetzt. Die Drahtenden der Nebenspirale sind in Rinnen an der unteren Seite des Brettes S wohlverwahrt bis zu den Messingsäulchen p und q fortgeführt und an denselben festgelöthet. In die Messingsäulchen p und q werden endlich die

Handgriffe eingeschraubt. Gewöhnlich wird der oben beschriebene Schlittenapparat mit einem magnetischen Hammer, von der Fig. 564, Seite 626 abgebildeten Art, auf einem und demselben Brette zu einem Ganzen verbunden.

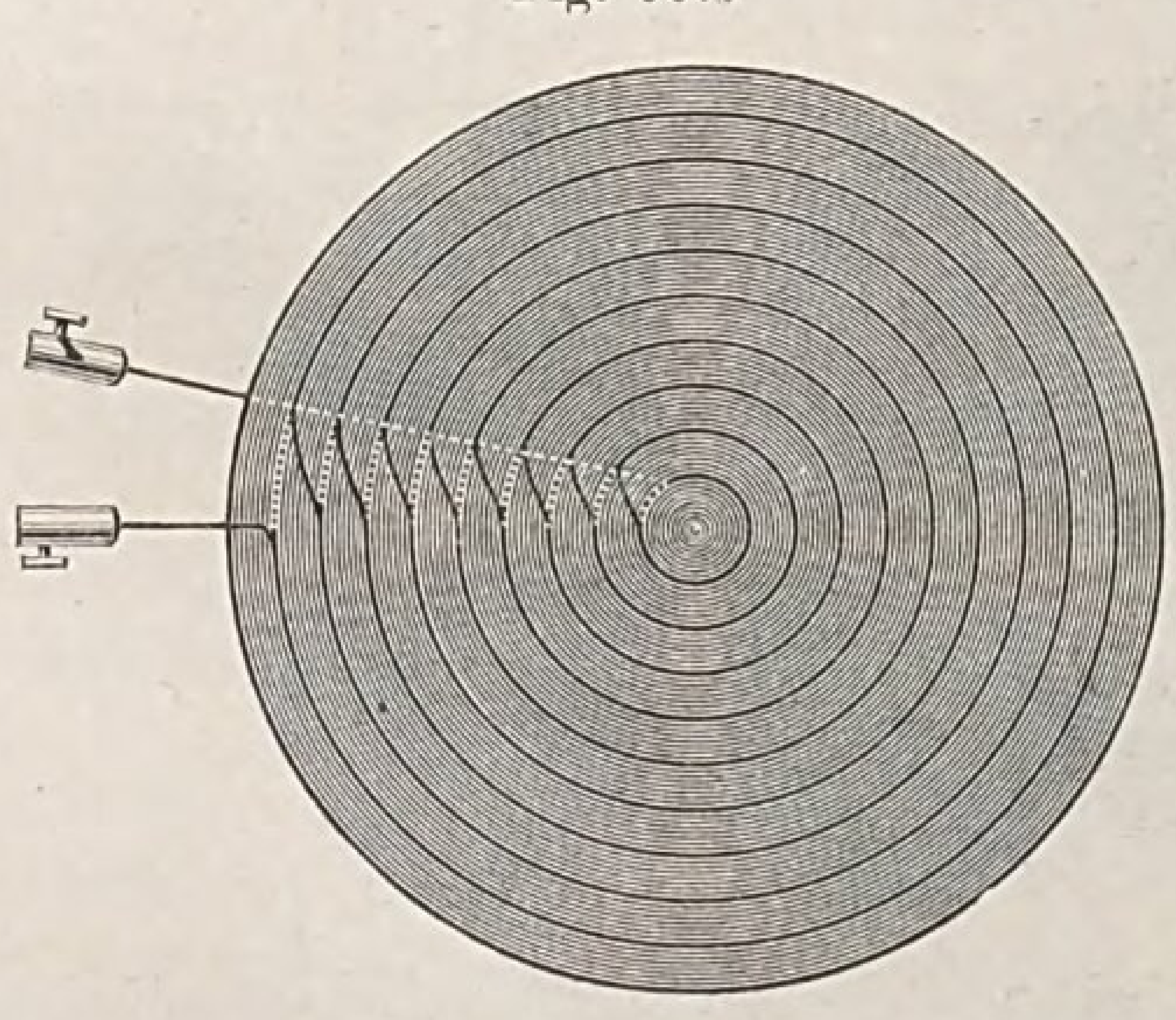
Häufig werden die beiden Spiralen sammt dem Hammerwerk in einem gemeinschaftlichen Kasten vereinigt, welcher dann auch noch das stromerregende Plattenpaar enthält. Die einzelnen Theile solcher Apparate sind in der Regel weniger sichtbar und zugänglich; durch die unvermeidliche Einwirkung der Säuren, durch welche das galvanische Plattenpaar in Thätigkeit gesetzt wird, sind aber die verschiedenen Eisentheile des Apparates einem starken Rosten ausgesetzt.

Statt der oben beschriebenen Handgriffe kann man natürlich auch andere Zuleitungsvorrichtungen anwenden, um die Inductionsströme demjenigen organischen Körper zuzuführen, welchen man der Einwirkung dieser Ströme aussetzen will; ein interessanter Versuch besteht z. B. darin, dass man statt der Handgriffe zwei etwa handgrosse Metallplatten an den Enden der Inductionsspirale befestigt, diese in einiger Entfernung von einander in Wasser eintaucht und dann das Glied, auf welches man die Elektricität will wirken lassen, also beispielsweise die Hand, ohne die Polplatten zu berühren, zwischen dieselben in das Wasser hält. In diesem elektrischen Bade entzieht der eingetauchte Körpertheil dem Wasser den grössten Theil der dasselbe durchströmenden Elektricität, und wird also auf allen Punkten auf das Lebhafteste erregt.

Eine andere Gattung physiologischer Inductionsapparate werden wir später kennen lernen.

Inductionsströme durch Reibungselektricität. Auch der Entladungsstrom der Leydener Flasche bringt, wie Masson gezeigt hat, einen Inductionsstrom in einem benachbarten Drahte hervor, wie man dies am besten mit den von Riess construirten ebenen Inductionsspiralen zeigen kann. In einem dicken Brett, welches sich nicht verzieht, sind concentrische Ringe eingeschnitten, Fig. 567, und durch gekrümmte Einschnitte zu einer spiralförmigen Figur vereinigt. In diese spiralförmige Rinne wird dann ein Kupferdraht eingelassen und durch Pech gehörig isolirt befestigt. Auf einem zweiten Brette ist in ganz gleicher Weise ein Kupferdraht so 185

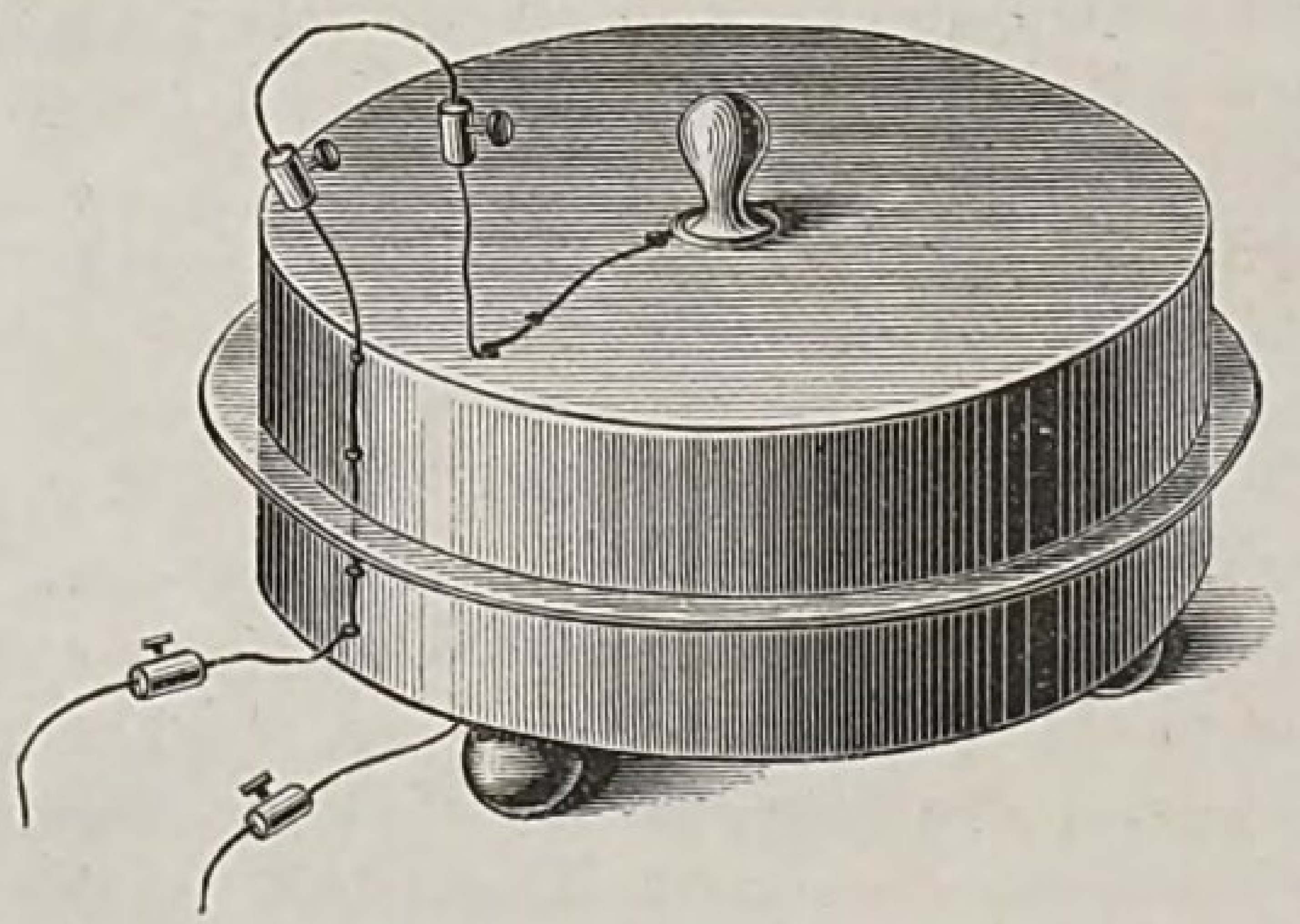
Fig. 567.



befestigt, dass, wenn man die mit den Windungen versehenen Seiten einander zukehrt, die Windungen des einen Brettes denen des anderen genau parallel sind.

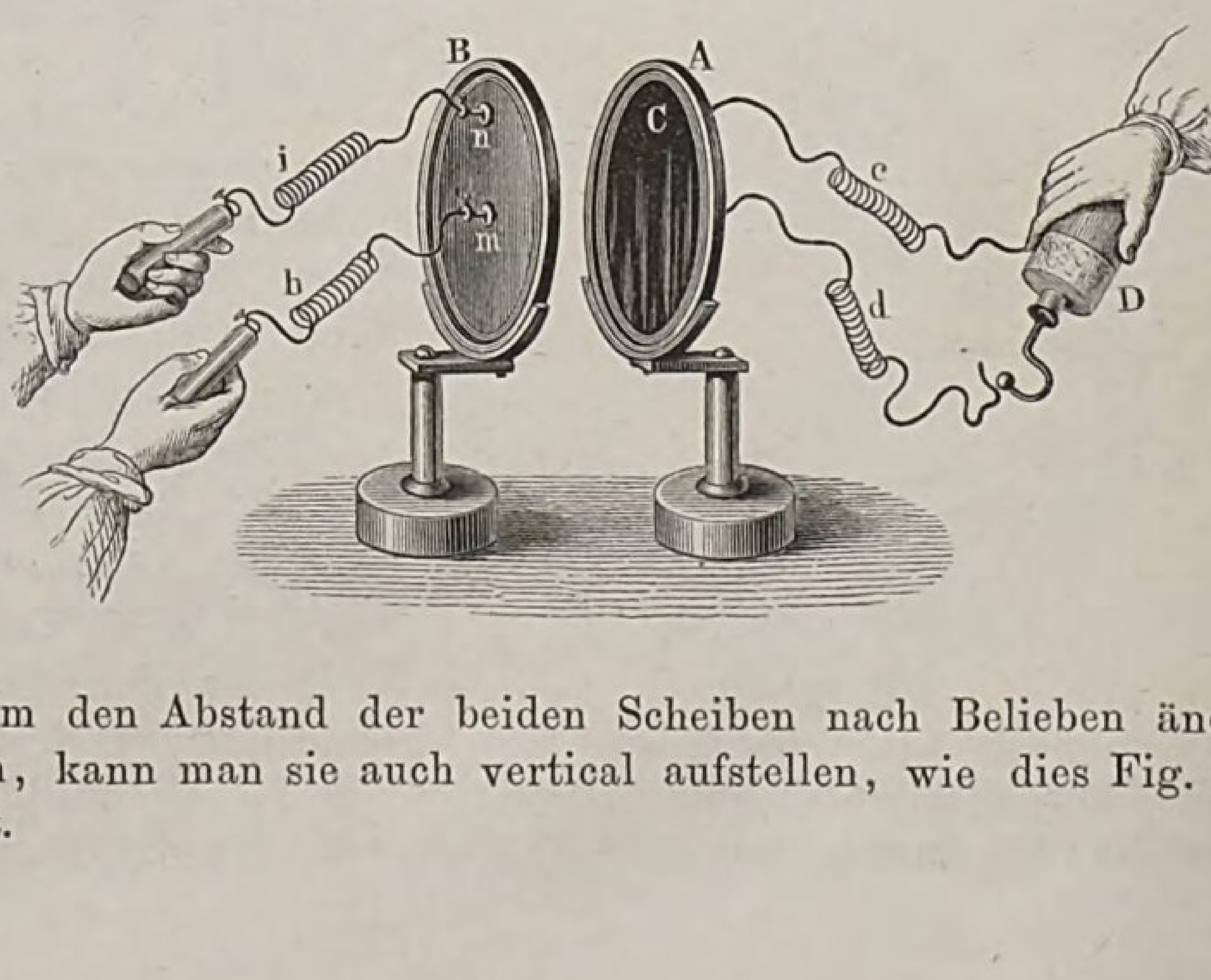
Fig. 568 zeigt, wie man zwei solche Scheiben am bequemsten zusammenstellt. Auf die horizontale Oberfläche der unteren wird zunächst eine Glasplatte und auf diese dann die zweite Scheibe in der angegebenen Weise aufgelegt. Wenn man in die Klemmschrauben der oberen Scheibe Drähte einschraubt und deren Enden bis auf 1 oder 2 mm nähert, so springt durch diesen Zwischenraum ein Funken über, wenn man den Entladungsschlag einer Leydener Flasche durch die Windungen der unteren hindurchsendet.

Fig. 568.



Wenn man in die Klemmschrauben der oberen Scheibe Handgriffe von der Fig. 565 dargestellten Art einsetzt und diese mit befeuchteten Händen anfasst, so erhält man einen Schlag, wenn eine Leydener Flasche durch die Windungen der anderen Scheibe entladen wird. Dieser Schlag ist aber sehr schwach, weshalb nicht mehr als eine Person in den Schliessungsbogen der Inductionsspirale eingeschaltet sein darf.

Fig. 569.



Um den Abstand der beiden Scheiben nach Belieben ändern zu können, kann man sie auch vertical aufstellen, wie dies Fig. 569 erläutert.

Der Extrastrom. Schliesst man ein einfaches galvanisches Element durch eine Spirale, welche durch viele Windungen eines übersponnenen Kupferdrahtes gebildet ist, bringt man alsdann zwei Handhaben so an, dass nach Unterbrechung des Stromes die Spirale durch den menschlichen Körper geschlossen ist, welcher die Handgriffe fasst, so erhält man im Moment der Oeffnung der Kette einen mehr oder weniger heftigen, von dem sogenannten Extrastrom herrührenden Schlag, welcher in der Spirale entsteht in dem Augenblick, in welchem der Hauptstrom aufhört. 186

Fig. 570.

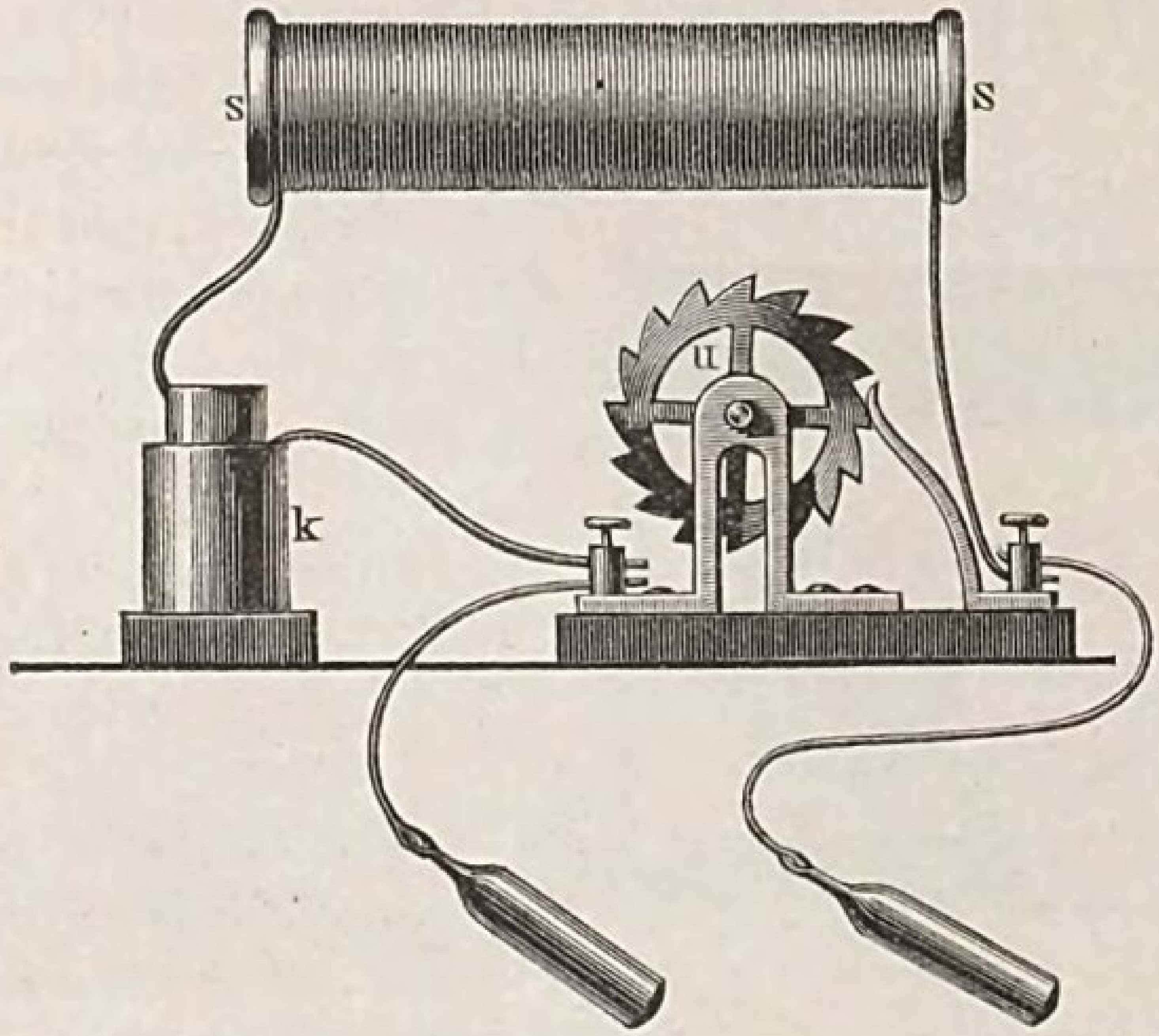
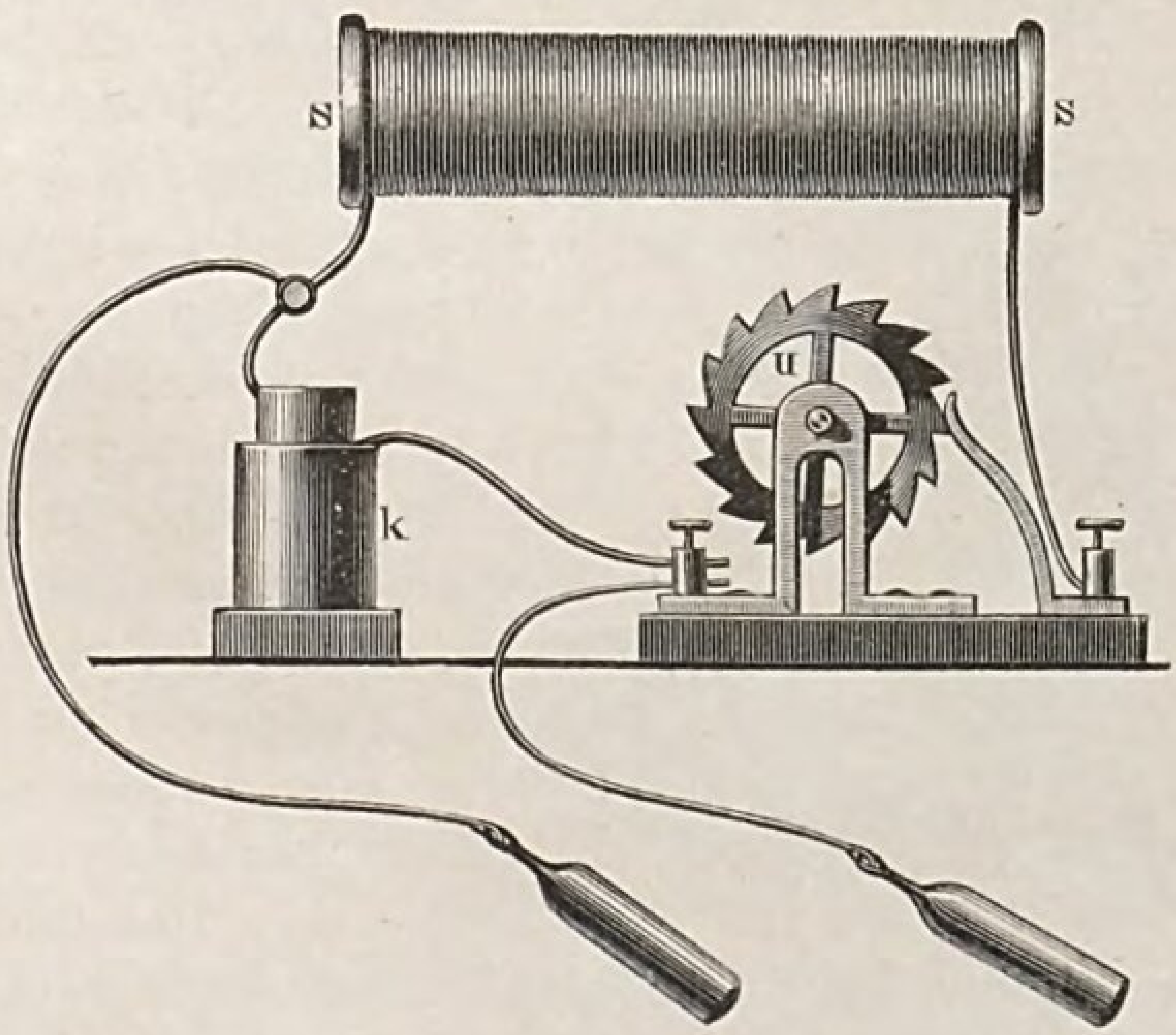


Fig. 571.



Die Art und Weise, wie man den Versuch anordnen kann, ist in beistehenden Figuren schematisch dargestellt. S ist die Drahtspirale, k ist der Volta'sche Becher; u ist der Stromunterbrecher, für welchen man auch das in Fig. 563 dargestellte Rheotom anwenden kann. Sind die Handgriffe angebracht wie in Fig. 570, so bilden nach Unterbrechung des Hauptstromes an der Contactfeder noch die Spirale, der Volta'sche Becher und der menschliche Körper eine geschlossene Kette; der beim Verschwinden des Hauptstromes in der Spirale sich bildende Extrastrom kann also durch den Körper hindurchgehen. Dasselbe ist der Fall bei der in Fig. 571 dargestellten Anordnung; hier ist nach Unterbrechung des Hauptstromes

die Spirale allein durch den Körper geschlossen, welcher den Schlag erhält; der Volta'sche Becher ist hier ausgeschaltet. Bei der Anordnung Fig. 572 endlich erhält man keinen Schlag, weil nach Unterbrechung des Hauptstromes nur der Volta'sche Becher noch durch den Körper geschlossen, die den Extrastrom erzeugende Spirale aber ausgeschaltet ist.

Um die in Fig. 570 dargestellte Combination leicht herstellen zu können, sind die Messingsäulchen *a* und *f* des Unterbrechungsrades Fig. 563 so eingerichtet, dass man in jedes derselben zwei Zuleitungsdrähte einschrauben kann.

Fig. 573 stellt eine Extrastromspirale dar, welche mit dem elektromagnetischen Hammer zu einem System verbunden ist, und welche sich vorzugsweise eignet, um kräftige physiologische Wirkungen hervorzubringen.

Fig. 572.

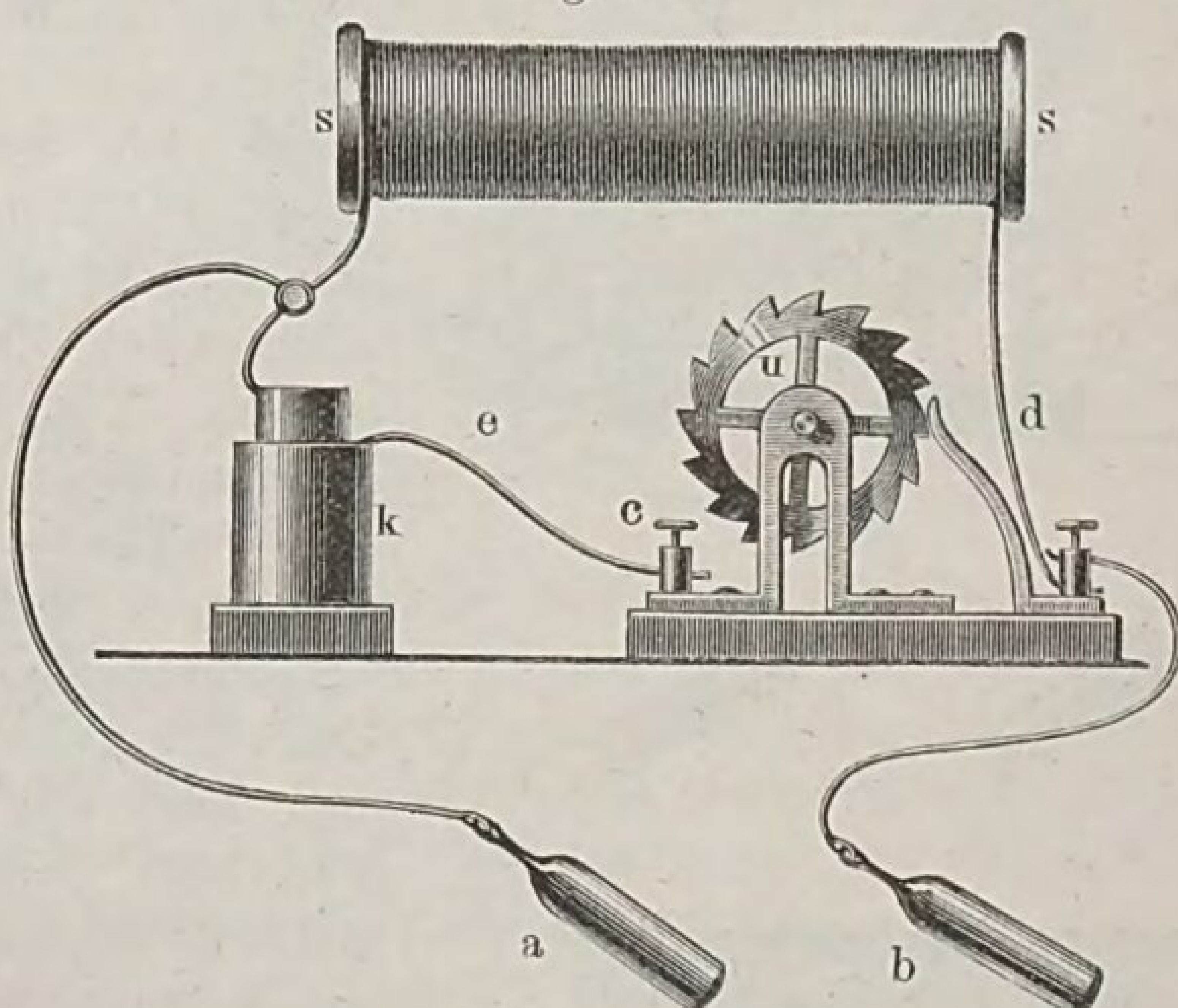
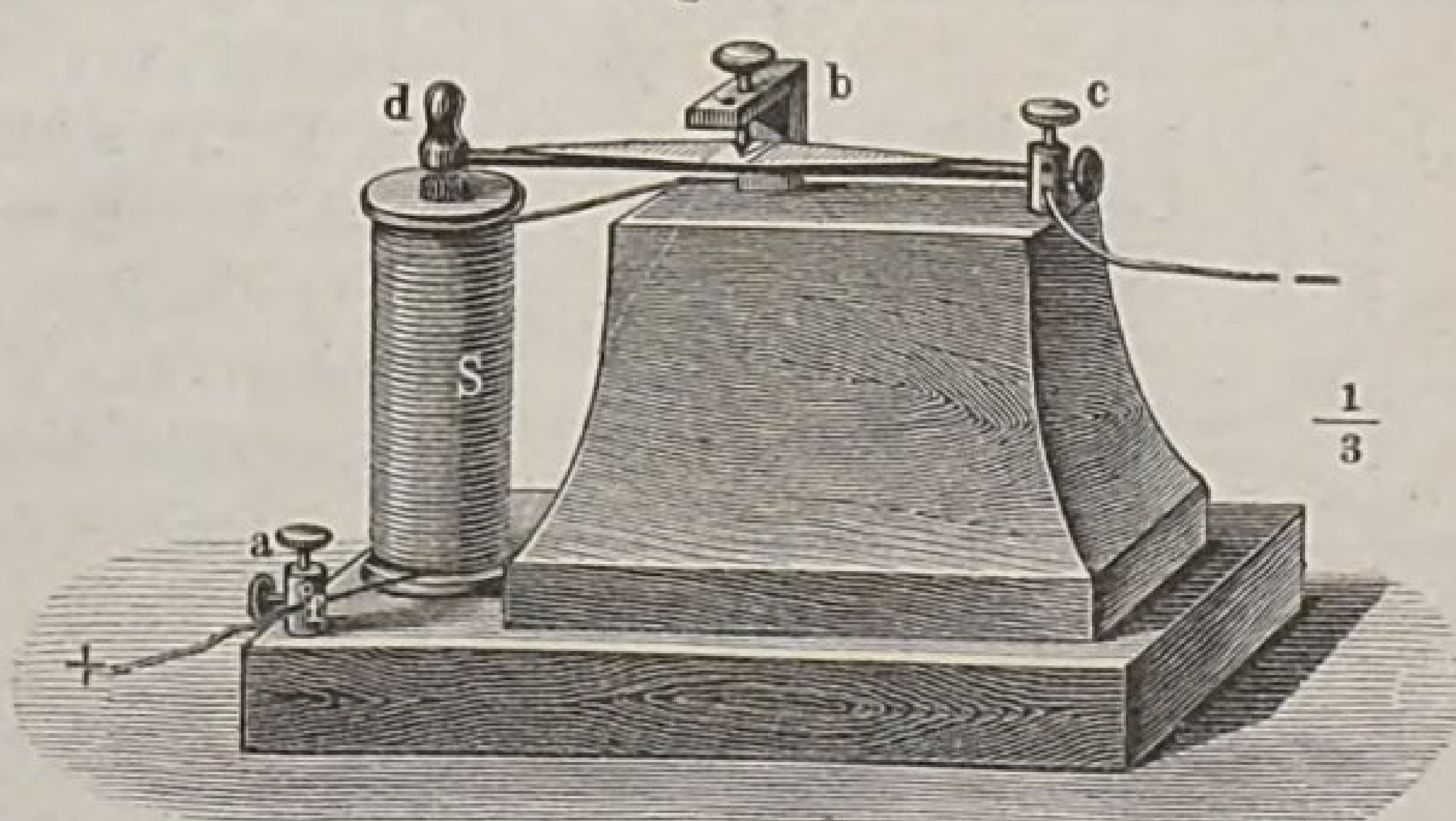


Fig. 573.



S ist die Spirale von dünnem übersponnenen Kupferdraht, welcher auf eine Hülse von Holz gewickelt ist. Die beiden Drahtenden dieser Spirale führen zu den Messingständern *a* und *b*. Im Inneren der Holzhülse befindet sich ein Bündel von Eisendrähten.

In dem Messingsäulchen *c* ist ein federnder Kupferstreifen befestigt, dessen anderes Ende in einem kleinen Zwischenraum über dem erwähnten Drahtbündel ein eisernes Knöpfchen *d* trägt. Die Kupferfeder drückt ungefähr in der Mitte ihrer Länge schwach gegen eine von oben herabkommende Platinspitze an, welche sich am unteren Ende einer in dem Ständer *b* angebrachten Schraube befindet. Da, wo die Kupferfeder mit der Spitze in Berührung kommt, ist ein kleines Platinplättchen aufgesetzt.

Der eine Pol eines Volta'schen Elementes wird nun bei *a*, der andere bei *c* eingeschraubt. Der bei *a* eintretende Strom durchläuft die Spirale *S*, gelangt aus derselben zum Ständer *b*, von welchem er durch die erwähnte Platinspitze auf die Kupferfeder übergeht, um von dieser nach *c* und dem anderen Pole des Elektromotors geführt zu werden.

Dieser Strom macht das Eisendrahtbündel, welches sich in der Spirale *S* befindet, magnetisch, der eiserne Knopf bei *d* wird niedergezogen und dadurch jenes Spiel der raschen Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes hervorgebracht, welches wir bereits oben kennen lernten.

Bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes bildet sich nun in der Spirale *S* der Extrastrom, sobald eine entsprechende Nebenschliessung vorhanden ist. Befindet sich der menschliche Körper in dieser Nebenschliessung, so erhält er die bekannten Schläge; die Einschaltung des Körpers kann nun auf verschiedene Weise ausgeführt werden.

1. Die eine Handhabe ist bei *b*, die andere ist bei *c* eingesetzt. Es entspricht dies der Anordnung Fig. 570.

2. Der Anordnung Fig. 571 entsprechend, ist eine Handhabe bei *a*, die andere bei *b* eingeschraubt.

In diesen beiden Fällen erhält man die Schläge des Extrastromes, nicht aber, wenn

3. die eine Handhabe bei *a*, die andere bei *c* eingesetzt ist, was der Anordnung Fig. 572 entspricht.

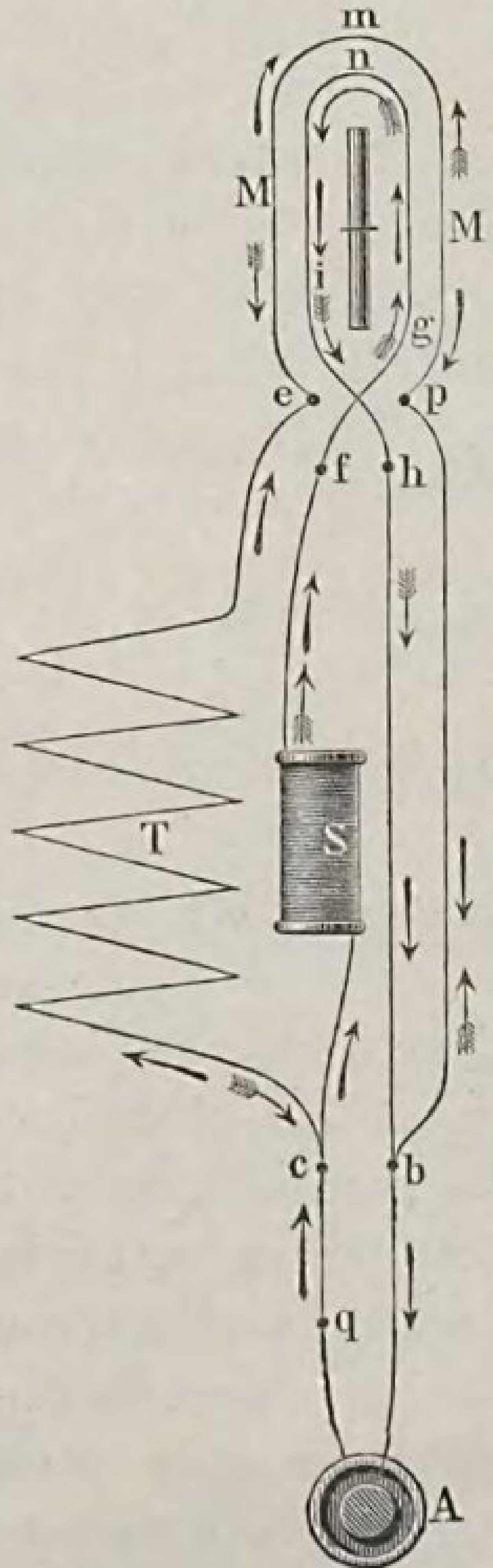
Faraday, welcher auch diese neue Art von Inductionsströmen entdeckte, erklärte ihre Entstehung in folgender Weise: Der elektrische Strom, welcher eine Spirale durchläuft, erzeugt in den parallel laufenden Windungen des Nebendrahtes beim Schliessen der Kette einen entgegengesetzten, beim Oeffnen derselben einen gleich gerichteten Inductionsstrom; fehlt aber dieser Nebendraht, so erzeugt der Hauptstrom in seinem eigenen Leitungsdraht, indem eine Windung inducirend auf die andere wirkt, einen Inductionsstrom, und zwar einen dem Hauptstrom entgegengesetzten beim Schliessen der Kette, einen gleich gerichteten beim Oeffnen derselben.

Der beim Schliessen der Kette inducirte Strom kann keine merkliche Wirkung hervorbringen, weil er dem Hauptstrom entgegengesetzt ist; die vorher besprochenen Schläge rühren nur von dem beim Oeffnen der Kette inducirten Strom her, welcher mit dem Hauptstrome gleich gerichtet ist. Faraday nannte diesen im Hauptdraht selbst entstehenden Inductionsstrom den Extrastrom, zur Unterscheidung von solchen Strömen, welche in einem Nebendraht inducirt werden.

Wir wollen deshalb auch solche galvanische Erschütterungsapparate, in welchen die Schläge vom Extrastrom herrühren, wie beim Apparat Fig. 573, durch den Namen Extrastrom-Apparate von den ähnlich wirkenden Apparaten mit Nebendraht unterscheiden, die wir im vorigen Paragraph kennen lernten und die man kurz Inductionsapparate nennen kann.

Die Existenz des dem Hauptstrom entgegengesetzten Extrastromes, welcher beim Schliessen der Kette entsteht, hat zuerst Dove auf experimentellem Wege nachgewiesen. Am unzweideutigsten hat Edlund den Extrastrom auch zu Anfang des primären nachgewiesen. (Poggendorff's Annalen, Bd. LXXVII, S. 161.) Der Apparat, den er zu diesem Zwecke anwendete, hat folgende in Fig. 574 schematisch dargestellte Einrichtung. A ist eine galvanische Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach b und c führen; M ist ein Spiegelgalvanometer nach Wiedemann mit zwei gleichen Drahtspulen (S. 464). In unserer Figur stellt $fgnih$ das erste, pme das zweite Gewinde dar; p und e sind die Schraubklemmen, in welchen der Draht des äusseren, f und h sind die Schraubklemmen, in welchen der Draht des ersteren Gewindes endigt. Von b geht eine Drahtleitung nach p und nach h, während c mit e und mit f leitend verbunden ist. Die Verbindung ist, wie man leicht übersieht, von der Art, dass der Strom, welchen die Batterie A liefert, sich bei c theilt und die beiden Drahtlagen in entgegengesetzter Richtung durchläuft, so dass bei gehöriger Abgleichung keine Ablenkung der Magnetnadel durch den primären Strom der Kette A entstehen kann. In unserer Figur ist der Verlauf des durch die Säule A direct erzeugten Stromes durch die ungefiederten Pfeile ⟶ dargestellt.

Fig. 574.



Bei q war eine einfache Vorrichtung getroffen, durch welche die Kette bequem und gleichförmig geöffnet und geschlossen werden konnte. Das Spiegelgalvanometer wurde mittelst Fernrohres beobachtet.

Wenn nun bei S eine Drahtrolle in den Kreis der ersten Multiplicatorlage eingeschaltet wird, so muss, wenn das Gleichgewicht am Galvanometer nicht gestört werden soll, in die Zuleitung zur äusseren Drahtlage, etwa zwischen c und e, ein entsprechender Widerstand eingeschaltet werden; um aber zu verhindern, dass in dieser zwischen c und e angebrachten Einschaltung ein Inductionsstrom entstände, der dem in S erzeugten, welcher untersucht werden soll, entgegen wirken könnte, so wurde dieser Einschaltungsdraht T über zwei Glasstangen gewunden, welche 3 m weit von einander abstanden, so dass also der Draht zwischen den Glasstangen geradlinig ausgespannt war.

Wurde nun, nachdem die Widerstände so abgeglichen waren, dass die beiden Drahtgewinde am Galvanometer sich das Gleichgewicht hielten, der Strom bei q unterbrochen, so bildete sich in der Spirale S ein

Extrastrom, welcher in der Richtung circulirte, wie es die gefiederten Pfeile ⇛→ andeuten, welcher also, die beiden Drahtlagen in gleicher Richtung durchlaufend, den Magnet ablenken musste.

Wird die Kette wieder geschlossen, so muss das nämliche Verhältniss stattfinden, d. h. es wird auch jetzt der bei der Schliessung in S inducirte Extrastrom die beiden Drahtlagen in gleicher (den gefiederten Pfeilen entgegengesetzter) Richtung durchlaufen, es findet gegen den vorigen Fall nur der Unterschied statt, dass ein Theil des Inductionsstromes von b durch die Säule A nach c läuft.

Bei Anstellung der Versuche ergab sich nun, dass der Ausschlag des Galvanometers beim Schliessen der Kette gleich und entgegengesetzt war demjenigen, welcher beim Oeffnen entsteht, und daraus ergiebt sich, dass, wenn im Schliessungsbogen einer galvanischen Kette eine Drahtspirale eingeschaltet ist, beim Schliessen der Kette sowohl wie beim Oeffnen derselben durch die Einwirkung jedes Stromtheils auf die benachbarten Windungen Ströme inducirt werden, welche unter sonst gleichen Umständen in beiden Fällen gleiche Stärke haben.

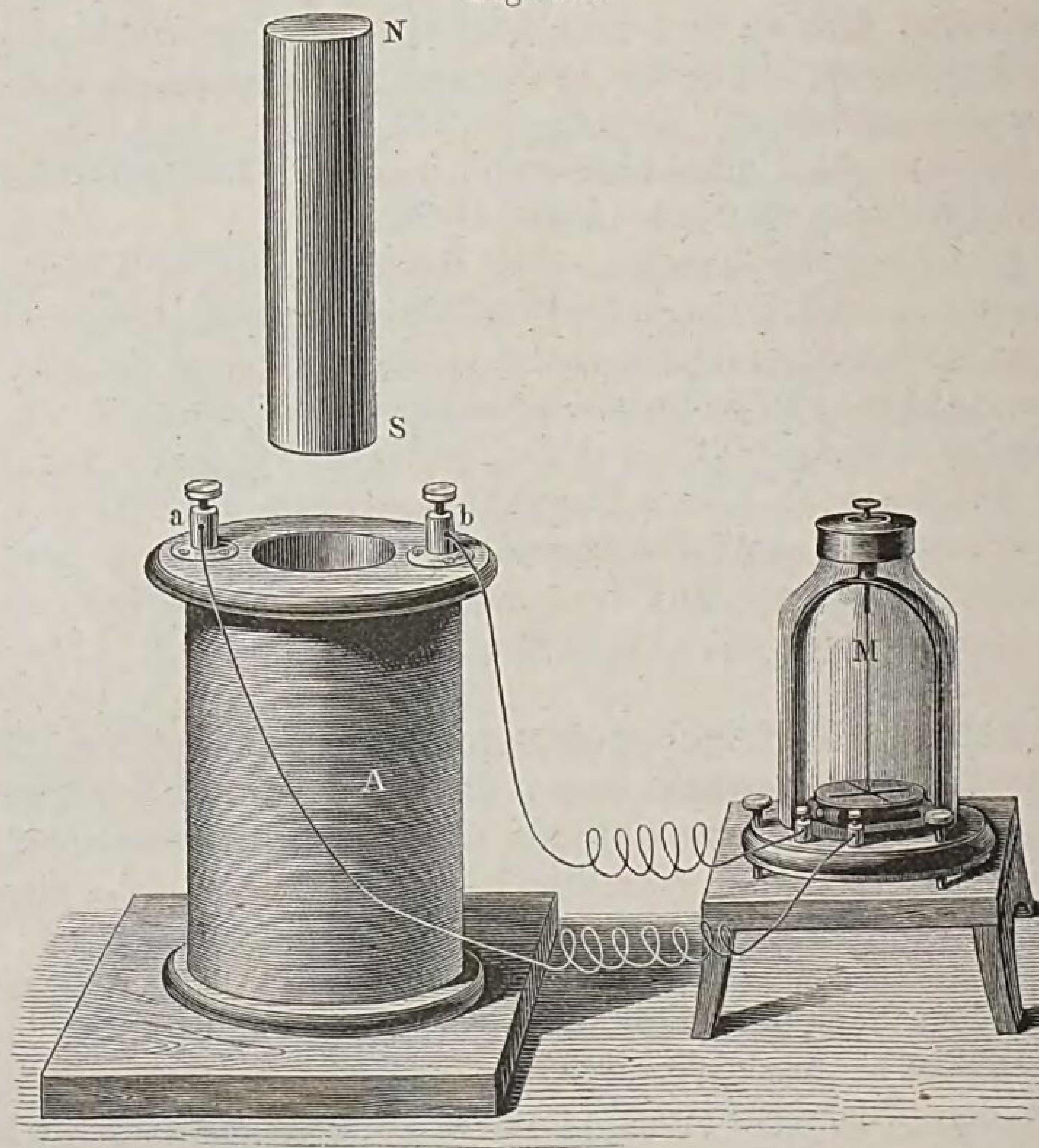
Induction elektrischer Ströme durch Magnete. Die im §. 182 beschriebenen Versuche lassen sich in der Weise abändern, dass man statt der primären Stromspirale einen Magneten anwendet. Der Magnet wirkt dann ebenso, wie die Molecularströme, welche man nach Ampère's Vorstellung um denselben kreisend denken kann. Statt eine primäre Stromspirale in die Inductionsspirale einzuführen resp. herauszuziehen, kann man also auch einen Magnetstab in dieselbe hineinschieben resp. herausziehen, wie Fig. 575 (a. f. S.) andeutet. Statt einen Strom in der primären Spirale plötzlich zu erzeugen resp. zu unterbrechen, kann man ein in der Inductionsspirale vorhandenes Stück weiches Eisen oder ein Bündel von Eisendrähten plötzlich in einen Magneten verwandeln resp. wieder entmagnetisiren. Dies ist wiederum in zweierlei Weise möglich, entweder, indem man das weiche Eisen durch Influenz eines genäherten Magnetpols magnetisch macht resp. durch Entfernung des letzteren unmagnetisch werden lässt; oder indem man das weiche Eisen durch einen Strom in einen Elektromagneten verwandelt resp. durch Unterbrechung des Stromes den Magnetismus wieder aufhebt. 187

Da die Annäherung des influenzirenden Magnets oder die Entstehung des magnetisirenden Stromes für sich allein schon einen Inductionsstrom in der Inductionsspirale erzeugt, so erklärt sich dadurch die Verstärkung der Inductionswirkung durch Eisenmassen im Innern der Spirale.

Um die Richtung der entstehenden Inductionsströme vorauszubestimmen, braucht man sich nur die intervenirenden Magnete durch primäre Ströme ersetzt zu denken, welche den gegebenen Magnetismus

nach Ampère's Gesetz in weichem Eisen hervorrufen würden und zu überlegen, dass beim Schliessen oder Annähern der Inductionsstrom die entgegengesetzte, beim Oeffnen oder Entfernen die gleiche Richtung hat

Fig. 575.

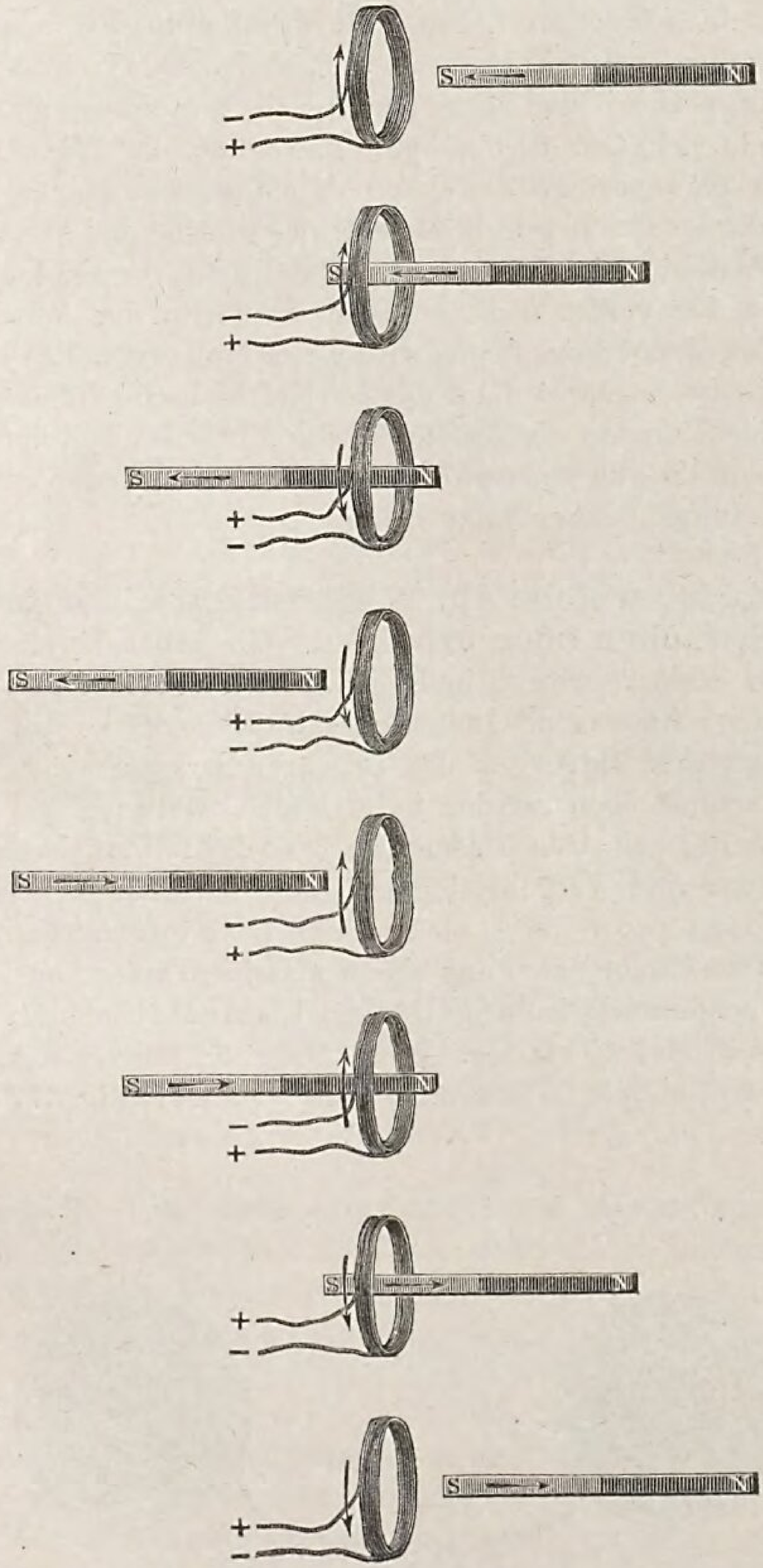


mit dem primären Strom. Noch übersichtlicher lässt sich auch hier die Regel von Lenz (§. 182) anwenden, welche in allgemeinerer Form lautet: So oft die relative Lage eines Magnets oder eines Stromes gegen einen Stromleiter geändert wird, entsteht im letzteren ein Inductionsstrom, welcher die entgegengesetzte Bewegung zu jener hervorzurufen strebt, durch welche er selbst entstanden ist.

Wenden wir nun diese Regel auf den Fall an, dass ein permanenter Magnet in eine Drahtspule parallel ihrer Axe hinein, dann durch dieselbe hindurch auf die andere Seite hinausbewegt, hierauf denselben Weg in derselben Lage zurückgezogen wird, so erhalten wir in den Drahtwindungen Inductionsströme, welche durch Fig. 576 schematisch erläutert sind. In dieser Figur bedeutet der auf dem Magneten SN gezeichnete Pfeil die Bewegungsrichtung desselben, der an dem Drahtgewinde gezeichnete Pfeil die Richtung des Inductionsstromes, der hierdurch entsteht. Vergleicht man diese Figur mit jener Fig. 438 II bis V (S. 495),

so ersieht man sofort, dass die Pfeile an den Drahtgewinden die entgegengesetzte Richtung haben. Die + und — Zeichen der Fig. 576

Fig. 576.



bezeichnen die Drahtenden, durch welche der erzeugte Inductionsstrom aus der Spirale austritt, wenn der Magnet in der Richtung des Pfeiles

sich bewegt, sie bezeichnen gleichzeitig die Drahtenden, durch welche ein primärer Strom eintreten müsste, um dieselbe Bewegung des Magneten zu bewirken. Hätte der Magnet die umgekehrte Lage, so würden alle Stromrichtungen vertauscht. Man übersieht sofort, dass beim Hindurchgehen eines Magnets durch eine Spirale die Stromrichtung des Inductionsstromes in dem Momente umgekehrt wird, in welchem die Mitte des Magnets mit der Mitte der Spirale zusammentrifft. In dieser Lage ruft ein primärer Strom keine Bewegung des Magneten hervor, so wie auch eine geringe Bewegung des Magneten keinen Inductionsstrom in Gang setzt. Der Inductionsstrom, welcher bei Annäherung des Magneten entsteht, schwillt also erst allmälig an, erreicht während des Durchganges des vorderen Pols durch die Mitte der Windungen die grösste Stärke, nimmt dann ab und wird gleich Null, wenn die symmetrische Lage erreicht ist, wechselt dann das Zeichen und schwillt neuerdings bis zu dem Moment an, wo der zweite Pol die Mitte der Spirale passirt, um dann wieder an Stärke abzunehmen. Wir werden später zu sehr wichtigen Anwendungen dieser Sätze gelangen.

188 **Umstände, welche die Wirksamkeit einer Inductionsspirale schwächen oder erhöhen.** Wir haben bereits im vorigen Paragraphen erklärt, warum in Folge des Vorhandenseins von weichen Eisenmassen im Inneren der Inductionsspirale die Stärke des Inductionsstroms bei gleicher Intensität des primären Stromes grösser ausfallen muss. Es kommt eben zu der inducirenden Wirkung des Schliessens und Oeffnens des primären Stromes auch noch die inducirende Wirkung des Entstehens und Vergehens eines Elektromagneten. Dabei ist es aber, wie Sturgeon zuerst beobachtet hat, durchaus nicht gleichgiltig, ob diese Eisenmassen aus einem massiven Stabe, oder aus einem Bündel von gegenseitig isolirten dünnen Eisenstäbchen bestehen. Letztere sind bedeutend wirksamer. Dieser Umstand erklärt sich, wie Magnus gezeigt hat, einfach in folgender Weise. Es sei in Fig. 577 ein schema-

Fig. 577.

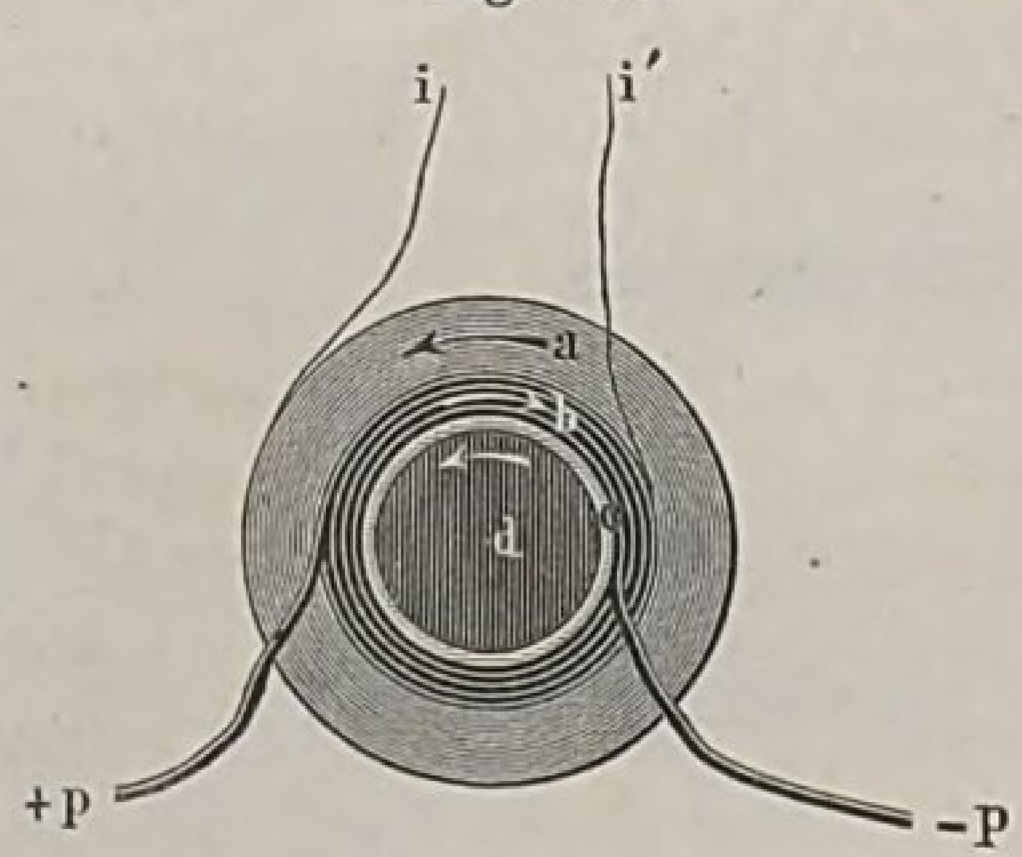
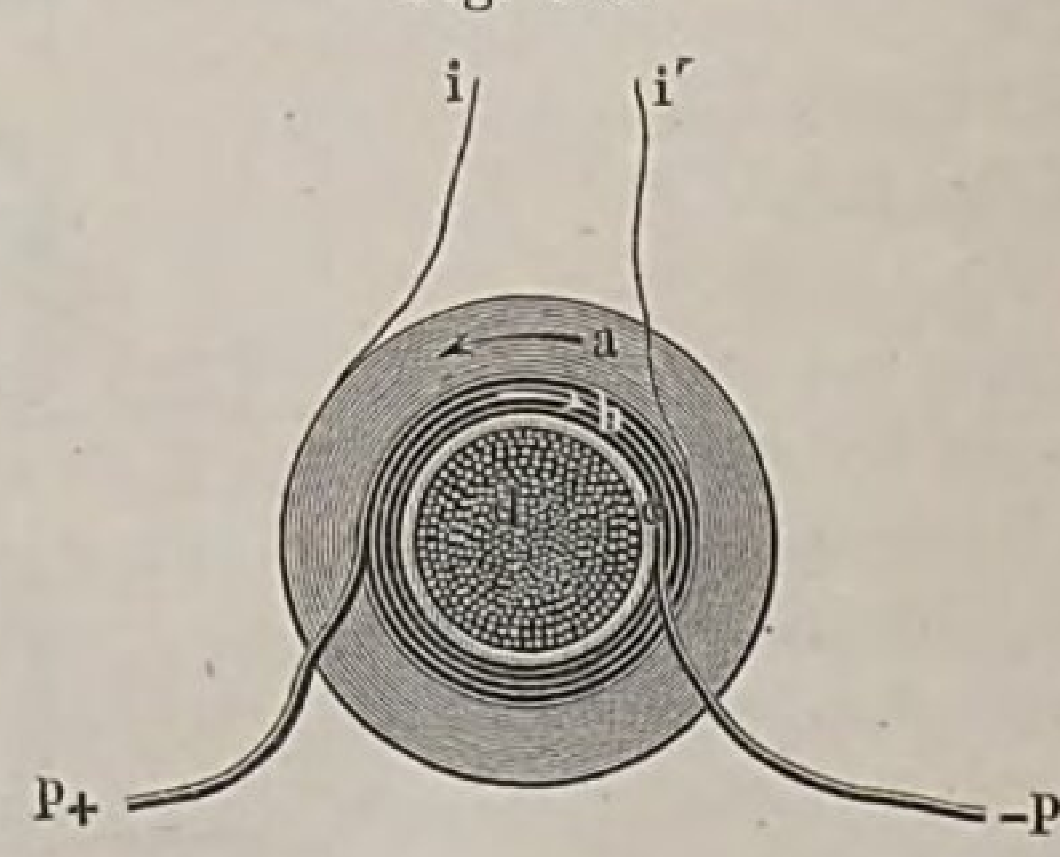


Fig. 578.



tischer Querschnitt durch eine Inductionsrolle dargestellt. *a* sei die äussere Lage, welche aus vielen Windungen des dünnen Inductiondrahtes besteht,

dessen Enden in i und i' sind, b sei die innere Drahtlage, bestehend aus dem dicken Drahte für den primären Strom, dessen Enden $+p$ und $-p$ mit den Polen der Volta'schen Säule in Verbindung gebracht werden. c stelle die cylindrische Wandung der Spule vor, auf welche die Drahtwindungen gewickelt sind, d endlich sei der massive Eisenkern. So wie nun der Strom durch die primären Drahtwindungen in der Richtung des Pfeils b geschlossen wird, entstehen nicht bloss in dem Inductionsdrahte a, sondern auch in der Eisenmasse Inductionsströme in der Richtung der Pfeile a und d. Ja auch in der Wandung der Spule c, falls dieselbe aus einem leitenden Materiale wäre, würden solche Ströme entstehen. Diese in c und d entstandenen Inductionsströme müssen in mehrfacher Weise schwächend auf den Inductionsstrom in a wirken. Einmal induciren sie selbst in a einen entgegengesetzten Inductionsstrom, dann aber wirken sie auf den inneren Eisenkern im entgegengesetzten Sinne magnetisirend, wie der primäre Strom, wodurch das Entstehen des vollen Magnetismus verlangsamt wird. Beim Oeffnen des primären Stromes entstehen dann in c und d mit demselben gleich gerichtete Inductionsströme, welche wiederum schwächend auf den Oeffnungsinductionsstrom einwirken, indem sie das Verschwinden des Magnetismus im Eisen verlangsamen.

Um diese nachtheilige Wirkung zu verhindern, muss man dafür sorgen, dass in c und d keine bemerkenswerthen Inductionsströme zu Stande kommen können, indem man ihnen keine ununterbrochene Leitung darbietet. Man ersetzt deshalb das massive Eisen durch ein Bündel gegen einander isolirter gefirnisster Drahtstäbchen (Fig. 578) und fertigt die Spulenwandung c aus einem nichtleitenden Stoffe (Holz, Hartgummi) oder man schlitzt den Cylinder c der Länge nach auf.

Statt der Drahtstäbe in d kann man auch wohl eine Eisenblechspirale, deren Windungen von einander isolirt sind, anwenden. Auch ausserhalb der äusseren Drahtwindungen muss man metallische Umhüllungen vermeiden. Das hier Gesagte gilt auch für solche Apparate, bei welchen der Extrastrom möglichst kräftig auftreten soll.

Stromstärke und elektromotorische Kraft der Inductionsströme. 189 Es ist bekannt, dass die elektrischen Ströme, welche durch die gewöhnliche Elektrisirmaschine oder die Influenzmaschine hervorgerufen werden, sich von den galvanischen Strömen nur dadurch unterscheiden, dass bei den ersteren eine sehr geringe Elektricitätsmenge mit sehr grosser elektromotorischer Kraft (Potentialdifferenz, Spannung) in Bewegung gesetzt wird, während bei den letzteren eine ungleich grösssere Elektricitätsmenge mit viel geringerer elektromotorischer Kraft in Bewegung gesetzt ist. Deshalb sind die ersteren Elektricitätsquellen überall dort überlegen, wo es auf grosse Potentialdifferenz (Spannung) ankommt, z. B. zur Funkenentladung, zu physiologischen Wirkungen, während die gal-

vanischen Ströme dort am Platze sind, wo die Quantität der in der Zeiteinheit bewegten Elektricität, d. i. die Stromstärke, maassgebend ist, also zu chemischen, thermischen, elektromagnetischen Wirkungen.

Die Inductionsströme nehmen gewissermaassen eine Zwischenstellung ein. Sie übertreffen die Ströme der Elektrisirmaschine bedeutend an Quantität der Elektricität und die galvanischen Ströme an Spannung der Elektricität. Sie eignen sich daher auch sehr zu Funkenexperimenten und zu physiologischen Wirkungen. Wir haben es jedoch in der Hand, durch die Construction der Inductionsspirale den Strom nach der einen oder der anderen Richtung zu modificiren. Zunächst lässt sich nachweisen, dass der Schliessungs- und der Oeffnungsinductionsstrom von einander verschieden sind. Dazu bedarf man aber eines Apparates, welcher gestattet, durch irgend einen Körper entweder nur die Oeffnungsschläge oder nur die Schliessungsschläge der Inductionsspirale hindurchgehen zu lassen. Solche Apparate sind namentlich von Dove, Masson und Buff construirt worden; nach Dove wollen wir dieselben als Disjunctoren bezeichnen. Fig. 579, 580 und 581 stellen

Fig. 579.

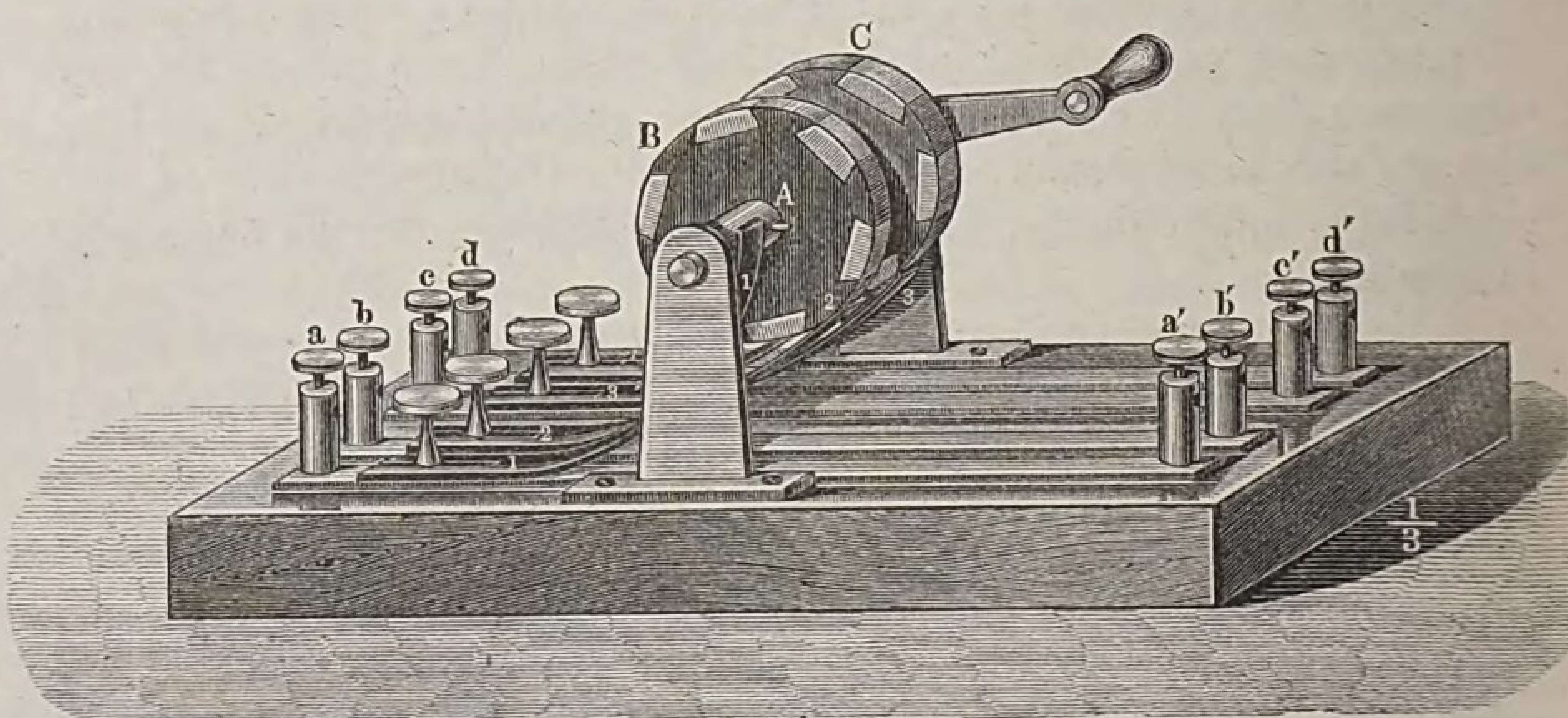


Fig. 580.

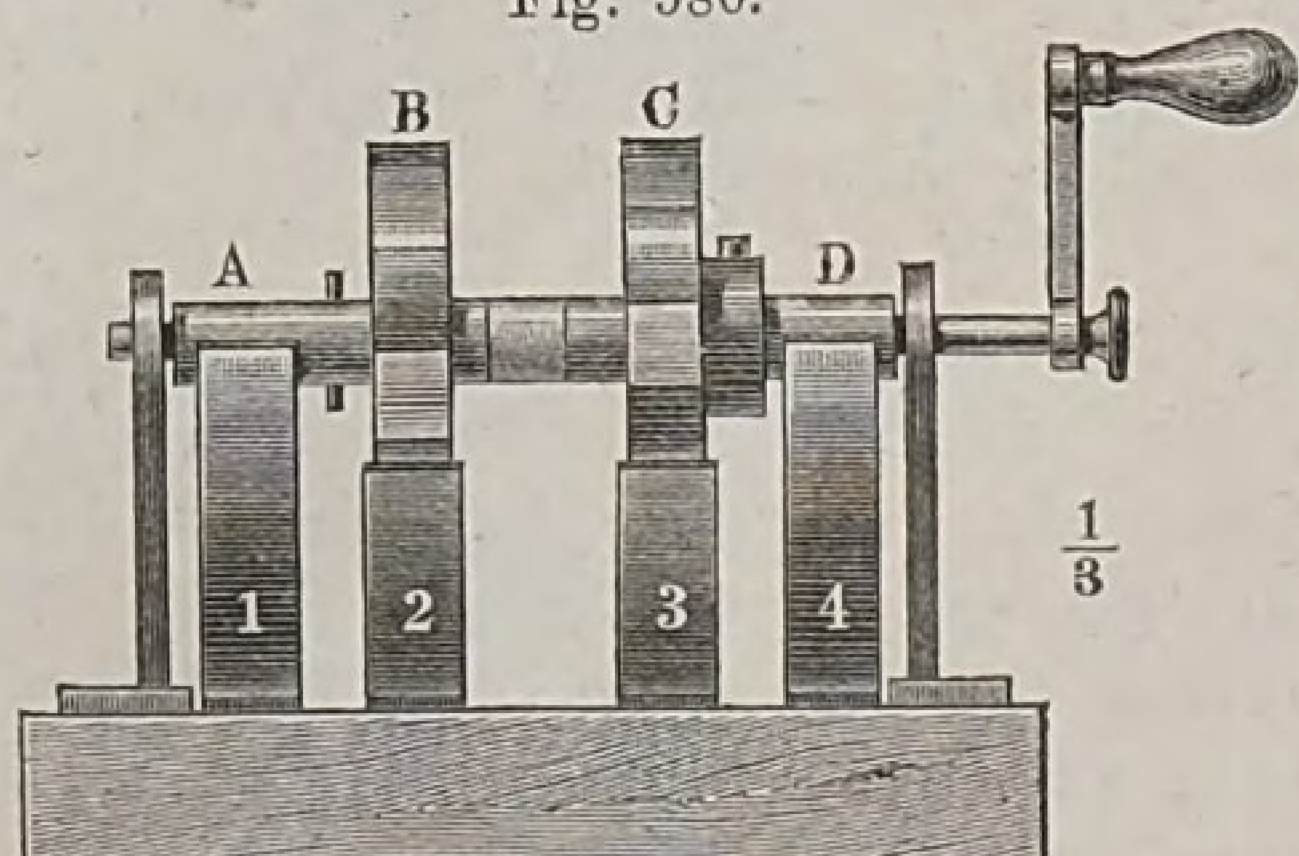
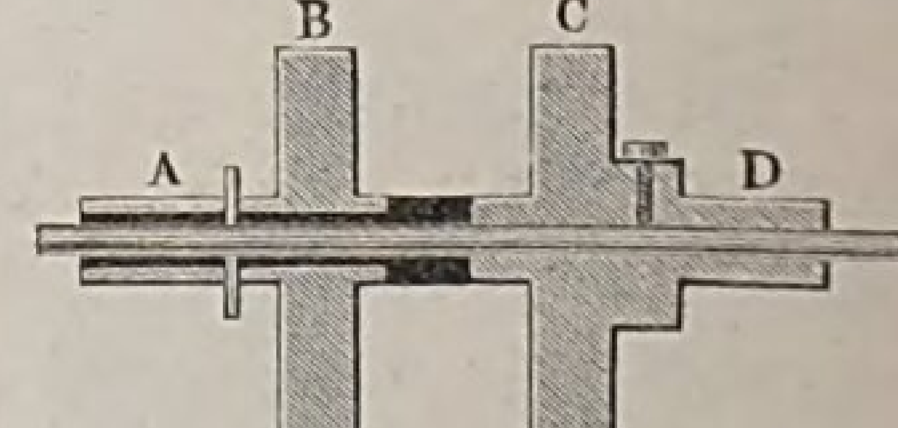


Fig. 581.



Buff's Disjunctor, welcher wohl der bequemste und zweckmässigste sein dürfte, in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Grösse dar.

Auf einer und derselben Umdrehungsaxe sitzen zwei ganz gleiche Messingräder, B und C, von denen das eine, nämlich B, durch eine Hülse von Ebenholz vor metallischer Berührung mit der Axe geschützt ist (Fig. 581), so also, dass die beiden Räder nicht in metallischer Verbindung stehen. Am Umfang dieser Räder sind Stücke von Buchsbaumholz so eingesetzt, dass dadurch die Mantelfläche in 12 gleiche Abtheilungen getheilt wird, welche abwechselnd aus Metall und aus Holz gebildet sind.

Auf dem Umfang des Rades B schleift die Metallfeder 2, auf C schleift die Feder 3, während auf der mit B zusammenhängenden Hülse A die Feder 1 und auf der mit C zusammenhängenden Hülse D die Feder 4 schleift.

Die Federn 1 und 2 sind durch Messingstreifen mit den Klemmschrauben a und a', b und b' in metallischer Verbindung; ebenso steht die Metallfeder 3 in leitender Verbindung mit den Klemmschrauben c und c', 4 steht in leitender Verbindung mit d und d'.

Sind nun in a und b oder in a' und b' die Poldrähte eines Zinkkohlenbechers eingeschraubt, in dessen Schliessungsbogen die Hauptspirale eingeschaltet ist, während in c und d, oder in c' und d' Drähte eingeschaltet sind, welche zu den beiden Enden der Nebenspirale führen, so wird bei Umdrehungen der Axe durch das Rad B der Hauptstrom abwechselnd geschlossen und unterbrochen, während durch das Rad C die metallische Verbindung zwischen den beiden Enden der Nebenspirale gleichfalls abwechselnd hergestellt und unterbrochen wird.

Nun aber sind die beiden Räder B und C so gegen einander gestellt, dass nicht etwa die Randabtheilungen des einen denen des anderen genau entsprechen, sondern so, dass das eine Rad gegen das andere um die Breite einer halben Randabtheilung verstellt ist, so also, dass, wenn man sich eine der Gränzlinien zwischen Holz und Messing auf der einen Mantelfläche bis zum anderen Rad verlängert denkt, diese Verlängerungslinie auf die Mitte einer Holz- oder einer Messingabtheilung trifft, wie man dies in Fig. 579 und in Fig. 580 sieht.

Dadurch kommt es nun, dass, wenn bei Umdrehung der Axe die Feder 2 eben eine Trennungsstelle zwischen Holz und Messing passirt, die Feder 3 auf der Mitte einer Holz- oder auf der Mitte einer Messingabtheilung steht. Nur im letzteren Falle kann der Inductionsstrom zu Stande kommen.

Wird z. B. die Axe so gedreht, dass der vordere Theil der Räder, Fig. 580, sich von oben nach unten bewegt, so geht die Feder 2 von Messing auf Holz über, der Hauptstrom wird also unterbrochen, während die Feder 3 auf einer Messingabtheilung steht, der Oeffnungsstrom kommt also zu Stande. Bei weiterer Drehung geht aber die Feder 3 auf eine Holzabtheilung des Rades C über, ehe die Feder 2 wieder auf

eine Messingabtheilung kommt, der Schliessungsschlag kann also nicht zu Stande kommen, weil 3 auf Holz schleift, während 2 von Holz auf Messing übergeht.

Es ist leicht zu übersehen, dass man nur Schliessungsschläge, aber keine Trennungsschläge erhält, wenn man die Axe in entgegengesetzter Richtung dreht.

Schaltet man nun zwischen dem einen Drahtende der Nebenspirale und dem Rade *C* in passender Weise einen beliebigen Leiter ein, so wird also derselbe je nach der Umdrehungsrichtung nur von Schliessungs- oder nur von Oeffnungsschlägen durchströmt.

Ist nun in den Schliessungsbogen der Inductionsspirale ein Gefäss mit Kupfervitriollösung eingeschaltet, in welche zwei Platinplatten als Elektroden eintauchen, so erhält man einen Kupferniederschlag nur auf der einen Platinplatte, wenn der Disjunctor so gestellt ist, dass nur die Schliessungsströme durch die Lösung hindurchgehen, während sich ein Kupferniederschlag auf der anderen Platinplatte bildet, wenn die Stellung des Disjunctors nur den Oeffnungsströmen den Durchgang durch die Lösung gestattet.

Lässt man dagegen Schliessungs- und Oeffnungsströme eine Zeit lang durch die Lösung hindurchgehen, wie es der Fall ist, wenn die Inductionsspirale stets geschlossen bleibt und man zur Unterbrechung des Hauptstromes ein gewöhnliches Unterbrechungsrad oder einen Wagner'schen Hammer anwendet, so erhält man auf keiner der beiden Elektroden einen Kupferniederschlag. Die chemische Wirkung der Oeffnungsströme ist also gleich derjenigen der Schliessungsströme und daraus folgt, dass die Quantität der Elektricität, welche bei einem Schliessungsschlag den inducirten Draht durchströmt, eben so gross ist, wie die dem Oeffnungsschlag entsprechende.

Ganz anders verhält es sich mit den physiologischen Wirkungen der Inductionsströme. Wenn man statt des Kupfervitriol-Voltameters den menschlichen Körper in den Schliessungsbogen der Inductionsspirale einschaltet, so erhält man sehr kräftige Schläge, wenn der Disjunctor so gestellt ist, dass er nur Oeffnungsschläge durch den Körper hindurchgehen lässt, weit schwächere dagegen, wenn nur Schliessungsschläge durch denselben hindurchgehen.

Experimentirt man mit einer Inductionsspirale, welche Funken auf Distanz zu geben im Stande ist, so findet man, dass die Funken eine viel grössere Schlagweite haben, wenn man mittelst des Disjunctors nur Oeffnungsfunken zwischen den Polspitzen überschlagen lässt, als wenn nur Schliessungsfunken überspringen können.

Wenn also auch die Quantität der Elektricität, welche die Nebenspirale bei der Oeffnung des Hauptstromes durchströmt, dieselbe ist, wie bei der Schliessung des Hauptstromes, so ist doch die Tension des Oeffnungsstromes in der Inductionsspirale bei weitem grösser, als die Tension

des Schliessungsstromes. Suchen wir eine Erklärung für diese Thatsache zu finden.

Nehmen wir an, dass der Strom in der Hauptspirale momentan seine volle Stärke erlange, dass er diese Stärke während einer gewissen Zeit unverändert beibehalte, um dann ebenso plötzlich aufzuhören, so ist kein Grund vorhanden, warum irgend eine Verschiedenheit (die Richtung ausgenommen) zwischen dem Oeffnungsschlag und dem Schliessungsschlag stattfinden sollte. Da nun aber bei Schliessung der Hauptspirale ein Extrastrom in derselben entsteht, welcher dem Hauptstrome entgegengesetzt gerichtet ist, so wird es eine namhafte Zeit dauern, bis derselbe seine volle Stärke erlangt, und dadurch wird auch der Verlauf des Schliessungsstromes in der Nebenspirale auf eine längere Zeit t ausgedehnt. Bei der Unterbrechung sinkt der Hauptstrom rasch von seiner grössten Stärke auf 0 herunter; die Zeit t', während welcher der Oeffnungsstrom in der Nebenspirale verläuft, ist also weit kürzer als die Dauer t des Schliessungsstromes.

Da nun aber die Quantität der Elektricität, welche den Nebendraht durchströmt, im Ganzen für den Schliessungsstrom eben so gross ist wie für den Oeffnungsstrom, während der letztere doch von viel kürzerer Dauer ist, so ist klar, dass die Intensität des Oeffnungsstromes viel bedeutender sein muss, als die des Schliessungsstromes.

Jede Windung der Nebenspirale ist in gleicher Weise der inducirenden Wirkung der Hauptspirale ausgesetzt, die Quantität q der in der Nebenspirale in Bewegung gesetzten Elektricität ist also nothwendig ihrer Länge, also auch (bei gleichbleibender Drahtsorte) dem Leitungswiderstand R ihrer Windungen proportional; ebenso ist sie proportional der Stromstärke J des Hauptstromes, wir haben also

$$q = KJR,$$

wenn K einen constanten Factor bezeichnet. Bezeichnen wir nun mit i die Intensität (Stromstärke) des Schliessungsstromes und mit t seine Zeitdauer, so ist

$$q = it.$$

Bezeichnen wir ferner mit E die elektromotorische Kraft, welche den Oeffnungsstrom in der Nebenspirale in Bewegung setzt, so ist

$$i = \frac{E}{R},$$

also auch

$$KJR = \frac{E}{R}\,t \text{ und } E = \frac{KJR^2}{t}.$$

Ebenso ergiebt sich dann für den Oeffnungsstrom

$$E' = \frac{KJR^2}{t'}.$$

Die elektromotorische Kraft, welche die inducirten Ströme in der Nebenspirale in Bewegung setzt, ist also proportional der Stromstärke des Hauptstromes und (bei gleicher Drahtsorte) dem Quadrat des Leitungswiderstandes der Nebenspirale, aber umgekehrt proportional der Zeitdauer des inducirten Stromes.

Der Umstand, dass die elektromotorische Kraft, welche die Inductionsströme in der Nebenspirale in Bewegung setzt, dem Quadrate von R, also auch ungefähr dem Quadrat der Windungszahl der Nebenspirale proportional ist, erklärt auch, dass dieselbe durch Vermehrung der Windungen hinlänglich gesteigert werden kann, um die kräftigeren Spannungserscheinungen hervorzubringen, deren oben Erwähnung geschah und welche im nächsten Paragraphen ausführlicher besprochen werden sollen.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass aus einer Verstärkung des physiologischen Effects noch nicht auf eine vermehrte galvanometrische Wirkung geschlossen werden darf. So hat denn auch Dove nachgewiesen, dass die kräftigeren Schläge, welche durch Anwendung von Drahtbündeln statt massiver Eisenkerne hervorgebracht werden, keineswegs daher rühren, dass die Quantität der den Draht durchströmenden Elektricität vermehrt wird. (Pogg. Annal. Bd. XLIX, S. 72.)

Am einfachsten lässt sich dies auf folgende Art zeigen. Man schliesse die Nebenspirale durch einen Multiplicator und beobachte die Ablenkung der Nadel, wenn der Hauptstrom geschlossen, oder wenn er unterbrochen wird für die Fälle, dass entweder Nichts, oder ein massiver Eisenstab oder ein Drahtbündel in die Höhlung der Spirale eingeschlossen ist. Bei einer solchen Versuchsreihe wurden folgende Ablenkungen der Multiplicatornadel erhalten:

Ohne Einschiebung	6·5°
Mit einem Bündel dünner Eisendrähte (1 mm dick, gefirnisst)	45
Mit einem Bündel dicker Eisendrähte (2 mm dick, gefirnisst)	48
Mit einem massiven Eisenkern	63

Der Hauptstrom war durch ein kleines Daniell'sches Element erzeugt worden. Bei rasch auf einander folgenden Schliessungen und Oeffnungen des Hauptstromes waren ohne Einschiebung die Schläge, selbst bei befeuchteten Händen, nicht über das Handgelenk fühlbar; nach Einschiebung des massiven Eisenstabes ging der Schlag in der eben angedeuteten Stärke durch zwei Personen, nach Einschiebung des Bündels dickerer Drähte durch vier, während das Bündel dünner Drähte die Schläge in gleicher Stärke in einer Kette von fünf Personen fühlbar machte.

Zehn der dünneren und fünf der dickeren Eisenstäbchen gaben, in die Spirale eingeschoben, eben so starke Schläge wie der massive Eisenstab; bei physiologischer Gleichheit waren aber die galvano-

metrischen Wirkungen sehr ungleich, denn es war die Ablenkung des Galvanometers

für die 10 dünneren Stäbchen . . .	28°
für die 5 dickeren Stäbchen	36
für den massiven Eisenstab	63

Mit einer anderen Inductionsspirale, welche aus 600 m eines nur 1 mm dicken Drahtes gebildet war, zeigten sich die galvanometrischen Effecte bei weitem schwächer (ohne Einschiebung von Eisen höchstens 2°, bei eingeschobenem massivem Eisenstab 20°), während die physiologischen Effecte viel kräftiger waren.

Im Magnetisiren von Stahlnadeln zeigt sich der durch die Drahtbündel, im Magnetisiren von weichem Eisen der durch den Eisenstab inducirte Strom überlegen.

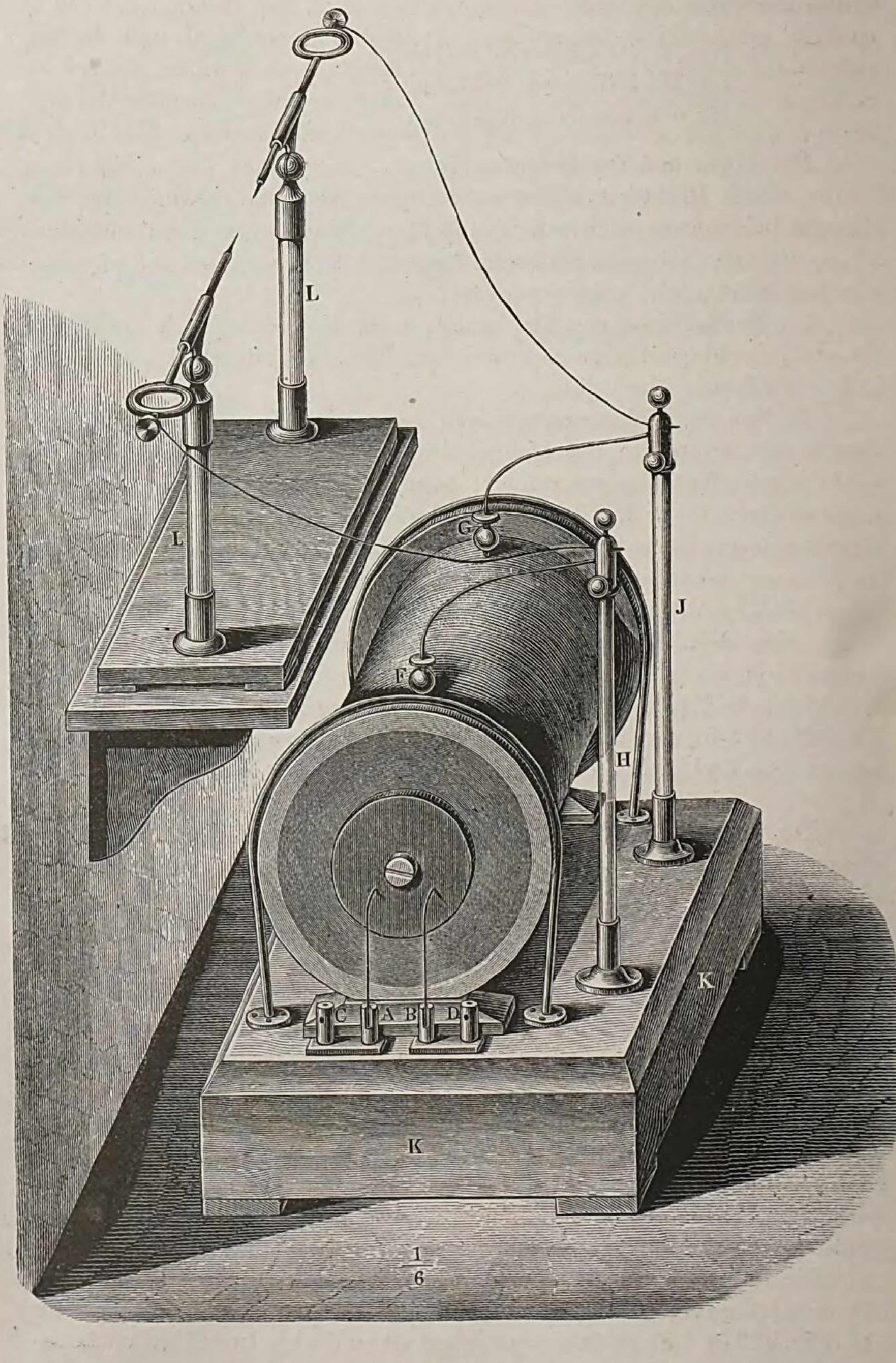
Da nun das Elektromagnetisiren des weichen Eisens einen andauernden Strom erfordert, das Magnetisiren des Stahls aber auch bei den plötzlichsten Entladungen erfolgt; da man ferner aus Versuchen mit Reibungselektricität weiss, dass durch Abgleichen eines gleich grossen elektrischen Gegensatzes je nach der Dauer desselben sehr verschiedene Wirkungen entstehen, indem eine rasche Entladung Schläge, eine langsame hingegen die Ablenkung des Galvanometers hervorzubringen vermag, so kann dies Resultat als entscheidend für die Annahme gelten, dass in einem durch ein Drahtbündel inducirten Strom eine bestimmte Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit sich durch den Draht bewegt, als wenn dieselbe durch einen massiven eisernen Cylinder in Bewegung gesetzt wird.

Der Funkeninductor. Durch Vergrösserung der Dimensionen, namentlich aber dadurch, dass man zur Construction der Nebenspirale einen möglichst langen und dünnen Kupferdraht verwendet und für die Isolation der einzelnen Windungen möglichste Sorgfalt trägt, lassen sich die Spannungserscheinungen des Inductionsapparates bedeutend steigern, namentlich aber lassen sich zwischen den genäherten Drahtenden der Inductionsspirale Funken von namhafter Länge erzielen. 190

Solche Inductionsapparate nun, welche vorzugsweise dazu construirt sind, recht lange Inductionsfunken zu geben, könnte man zum Unterschiede von den gewöhnlichen Inductionsapparaten als Funkeninductoren bezeichnen. Häufig werden solche Apparate auch Ruhmkorff'sche genannt, weil Ruhmkorff, ein vor einigen Jahren verstorbener deutscher Mechaniker in Paris, sie zuerst in grösseren Dimensionen ausgeführt hat.

Die Inductionsspirale der kleineren Ruhmkorff'schen Apparate hat eine Länge von 35 cm, während dieselbe bei den grössten 65 cm lang ist. Fig. 582 (a. f. S) stellt einen der grösseren Ruhmkorff'schen Apparate dar.

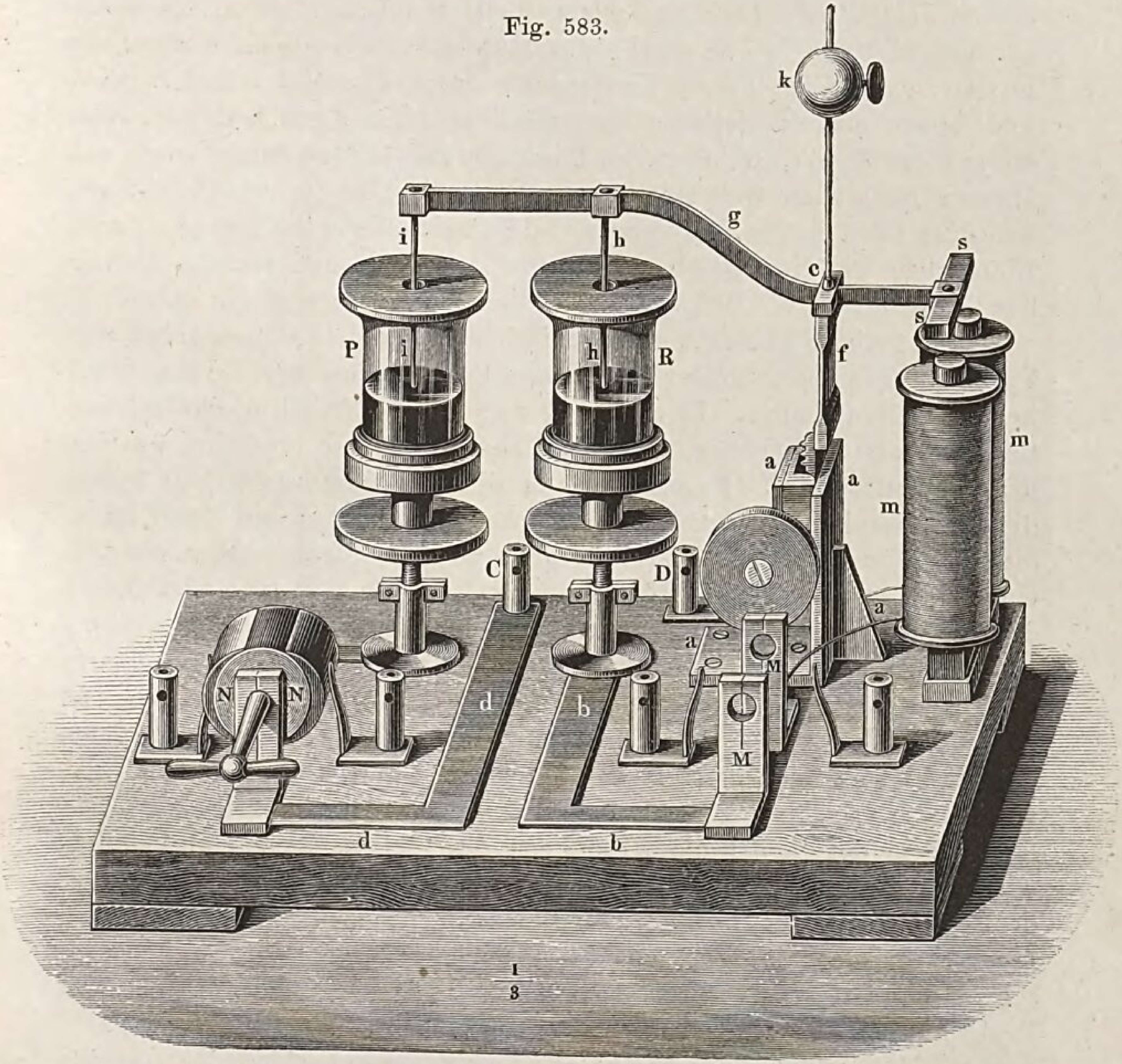
Fig. 582.



Die freien Drahtenden der Hauptspirale, in deren Höhlung sich ein Bündel von Eisenstäbchen befindet, sind zu den Messingsäulchen A und B geführt (die Schrauben, mittelst deren sie in A und B festgeklemmt werden, sind in der Figur fortgelassen worden; ebenso die Schraubenköpfe der Säulchen C und D und der entsprechenden Messingsäulchen in Fig. 583). A steht mit dem Messingsäulchen C, B steht mit D in leitender Verbindung.

Bei den kleineren Apparaten ist die Nebenspirale durch 33 000 Windungen eines $\frac{1}{3}$ mm dicken Kupferdrahtes gebildet, welcher nicht allein

Fig. 583.



mit Seide übersponnen ist, sondern dessen einzelne Lagen der vollständigeren Isolation wegen noch mit einer Schicht von geschmolzenem Schellack überzogen sind. Bei den grössten Apparaten wächst, bei einer Dicke von $\frac{1}{5}$ mm, die Drahtlänge der Inductionsspirale auf 100 000 m. Die Kugeln F und G bilden die Pole der Nebenspirale. Die obere Metallfassung der Glassäule H ist mit F, die obere Metallfassung der Glas-

säule J ist mit G durch einen Metalldraht verbunden. Von den Metallfassungen der Glassäulen H und J aus werden dann Drähte zu den Leitern geführt, durch welche man den Inductionsstrom hindurchsenden will. Unsere Figur zeigt die Verbindung mit dem allgemeinen Auslader $L\,L$, wo die Funken zwischen zwei Platinspitzen überspringen, deren Abstand man nach Belieben vergrössern oder verkleinern kann.

Die Unterbrechung des Hauptstromes wird bei den kleineren Apparaten durch eine dem Wagner'schen Hammer ähnliche Vorrichtung in der Weise hervorgebracht, dass die Hauptspirale mit ihrem Eisendrahtbündel die Rolle des Elektromagnets spielt. Bei den grösseren Apparaten dagegen wird zur Unterbrechung des Hauptstromes Foucault's Interruptor gebraucht, dessen Einrichtung durch Fig. 583 erläutert wird und dessen charakteristische Eigenthümlichkeiten darin bestehen, dass erstens der Strom, welcher das Hammerwerk in Bewegung setzt, ein anderer ist als der weit stärkere, welcher die Hauptspirale durchläuft, und dass zweitens die Schliessung und Unterbrechung des Stromes durch Eintauchen und Herausziehen eines Platinstiftes in und aus Quecksilber bewerkstelligt wird. Betrachten wir diese Vorrichtung etwas näher.

Der positive Poldraht eines einfachen Zinkkohlenbechers führt den Strom zu dem Commutator M, dessen Construction wir bereits §. 92 kennen gelernt haben. In unserer Figur ist absichtlich die Walze des Commutators weggelassen, welche vollkommen ebenso erscheint, wie die des Commutators N. Ferner sind an allen Messingsäulchen der Figur die Schraubenköpfe weggelassen, welche zum Einklemmen der Drähte dienen. Von dem Commutator M geht nun der Strom weiter zu den Umwindungen des kleinen Elektromagnets m. Aus den Umwindungen des Elektromagnets m wird der Strom zu dem Messingständer a geführt, aus welchem er durch die Messingfeder f über g zum Stahlstifte h gelangt, dessen unteres mit Platin versehenes Ende in das Quecksilber des Gefässes R taucht. Vom Gefäss R, in dessen Boden ein Platinstift eintritt, geht der Strom durch den Kupferstreifen b zum Commutator M zurück, um von diesem nach dem anderen Pole des Bechers zurückzukehren.

Sobald der Strom die Windungen des Elektromagnets durchläuft, wird der eiserne Anker s herabgezogen und dadurch der Draht h aus dem Quecksilber des Gefässes R herausgezogen, der Strom wird unterbrochen und da in Folge davon der Eisenanker des Elektromagnetes m seinen Magnetismus verliert, so schnellt die Feder f zurück, um den Draht h wieder in das Quecksilber einzutauchen etc.

Die Feder f kann durch eine gezahnte Stange gehoben oder gesenkt und ihre Stellung so regulirt werden, dass der Stift h eben die Quecksilberoberfläche berührt oder doch nur ganz wenig eintaucht. Auch das Gefäss R (ebenso wie das sogleich zu besprechende P) kann beliebig höher oder tiefer gestellt werden. Die Schnelligkeit der Vibrationen der Feder f kann dadurch regulirt werden, dass man die Metallkugel k an einem von c aufsteigenden Metallstäbchen höher oder tiefer feststellt.

Je höher die Kugel heraufgestellt wird, desto langsamer sind die Vibrationen; sie werden am schnellsten, wenn man die Kugel *k* ganz entfernt.

An dem Ende des horizontalen Metallbalkens, welcher den Stift *h* trägt, ist aber ein zweiter vertical herabgehender Metallstift *i* befestigt, welcher in das Quecksilber des Gefässes *P* eintaucht und aus demselben herausgezogen wird, wenn der eiserne Anker *s* niedergeht. Durch das Heben und Senken dieses Stiftes wird nun der durch sechs grosse Bunsen'sche Elemente gelieferte Strom im Hauptdraht des Apparates Fig. 582 abwechselnd unterbrochen und wieder geschlossen. Die Poldrähte dieser Säule sind in die beiden Messingsäulchen des Commutators *N* eingeschraubt, welchen wir zunächst so gestellt denken wollen, dass der positive Strom durch den vorderen Theil der Commutatoraxe austritt und durch den der Kupferstreifen *d* zum Messingsäulchen *C* gelangt.

Von *C* des Interruptors führt ein Draht nach *C* des Apparates Fig. 582 (welcher im halben Maassstabe der Fig. 583 gezeichnet ist), so dass der positive Strom über *C* und *A*, Fig. 582, in die Hauptspirale eintritt. Der die Hauptspirale verlassende Strom geht dann über *B* und *D* der Fig. 582 nach *D* der Fig. 583 und von da über *a*, *f* und *g* durch den Stift *i* in das Quecksilber des Gefässes *P*, um von diesem endlich durch einen nicht bezeichneten Kupferstreifen zum Commutator *N* und der Säule zurückzukehren.

Dieser Strom wird nun durch die Vibrationen der Feder *f* am unteren Ende des Stiftes *i* abwechselnd unterbrochen und geschlossen.

In den Gefässen *P* und *R* wendet man statt des reinen Quecksilbers vortheilhafter ein Platinamalgam an, welches einen ziemlich dickflüssigen Brei bildet. Auf dieses Platinamalgam wird dann Weingeist gegossen, so dass nach dem Herausziehen des Stiftes aus dem Amalgam gleich eine Schicht des isolirenden Weingeistes zwischen die eben getrennten Metalltheile tritt, was nach den Beobachtungen von Poggendorff bewirkt, dass der Strom rascher vollständig unterbrochen wird, dass also die Intensität des inducirten Stromes wächst.

Es bleibt uns jetzt nur noch die Besprechung des Condensators übrig, durch dessen Anwendung Fizeau die Wirkung des Ruhmkorff'schen Apparates bedeutend gesteigert hat.

In den Schliessungsbogen der Hauptspirale wird nämlich ein nach dem Princip der Leydener Flasche oder der Franklin'schen Tafel construirter Condensator so eingeschaltet, dass im Moment der Unterbrechung des Stromes die Hauptspirale gewissermaassen durch den Condensator geschlossen ist. Dieser Condensator ist gewöhnlich in der auf S. 148 besprochenen Weise aus einem auf beiden Seiten mit Stanniol belegten Stück Wachstaffet gebildet und in dem Kasten *K*, Fig. 582, angebracht, welcher den ganzen Apparat trägt.

Das Messingsäulchen *C* (Fig. 582) steht mit der einen, *D* steht mit der anderen Belegung dieses Condensators in leitender Verbindung, so dass in dem Momente, in welchem der Hauptstrom in *P* unterbrochen

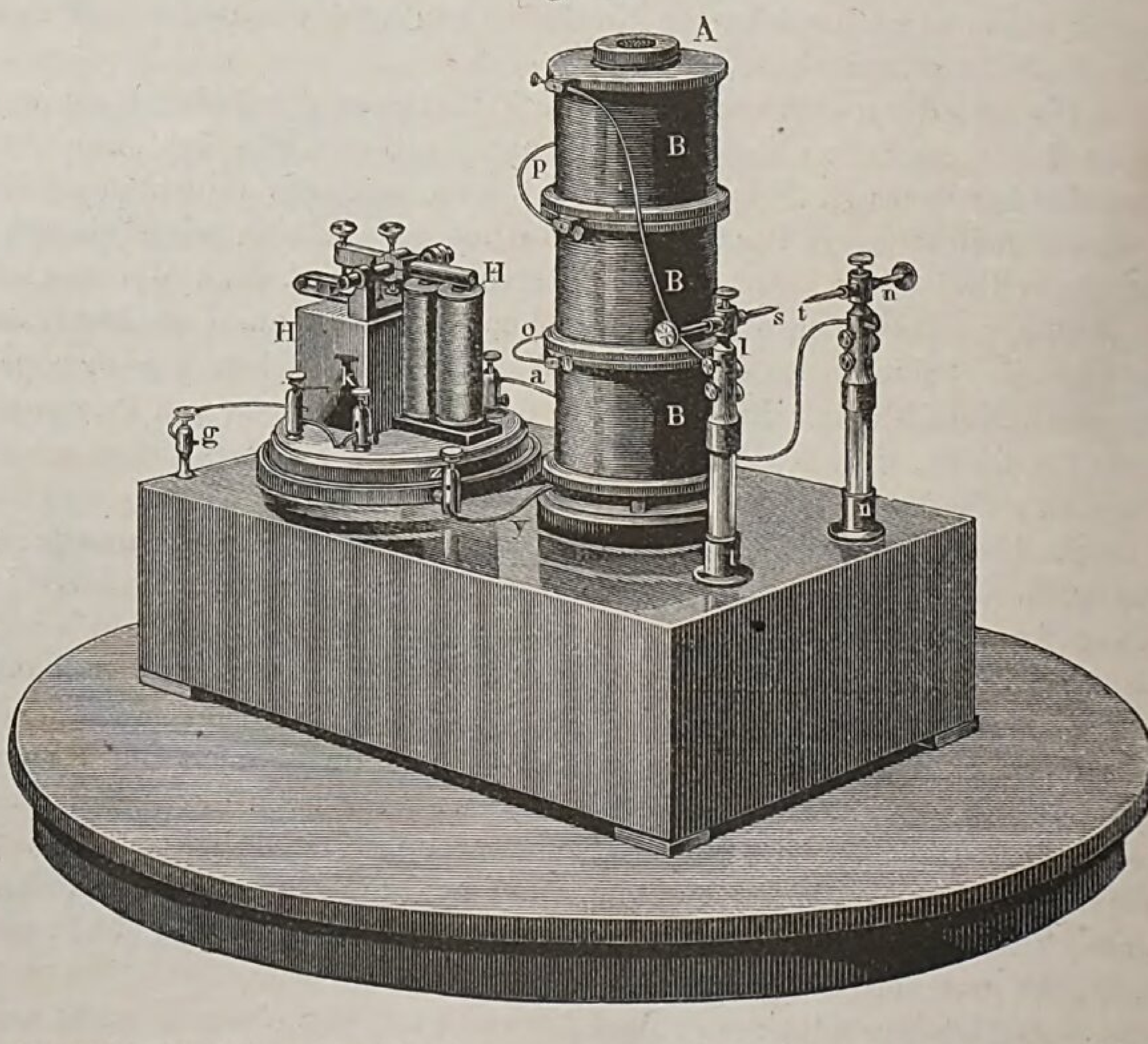
wird, der dabei sich bildende Extrastrom gewissermaassen durch den Condensator aufgenommen wird.

Dadurch erklärt sich nun auch die Wirksamkeit des Condensators. Wenn im Augenblick der Stromunterbrechung keine Nebenschliessung vorhanden ist, so ist der Verlauf des Extrastromes gehemmt; die mit Gewalt gegen die Unterbrechungsstelle hingetriebene Elektricität wird zwar theilweise durch das Ueberspringen eines glänzenderen Funkens entladen, der Rest aber muss in dem Hauptdraht selbst seine Ausgleigleichung suchen, er muss in demselben zurückströmen und dadurch wird die inducirende Wirkung auf den Nebendraht bedeutend geschwächt.

Ist aber der Condensator eingeschaltet, so wird der Extrastrom durch denselben vollständig aufgenommen und es findet keine Rückströmung im Hauptdraht statt. Ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht liegt darin, dass durch die Einschaltung des Condensators die Funken an der Unterbrechungsstelle der Hammervorrichtung schwächer werden.

Zum Schluss mag noch bemerkt werden, dass beim Entwerfen der Zeichnung Fig. 582 und 583 lediglich im Interesse der leichteren Ueber-

Fig. 584.

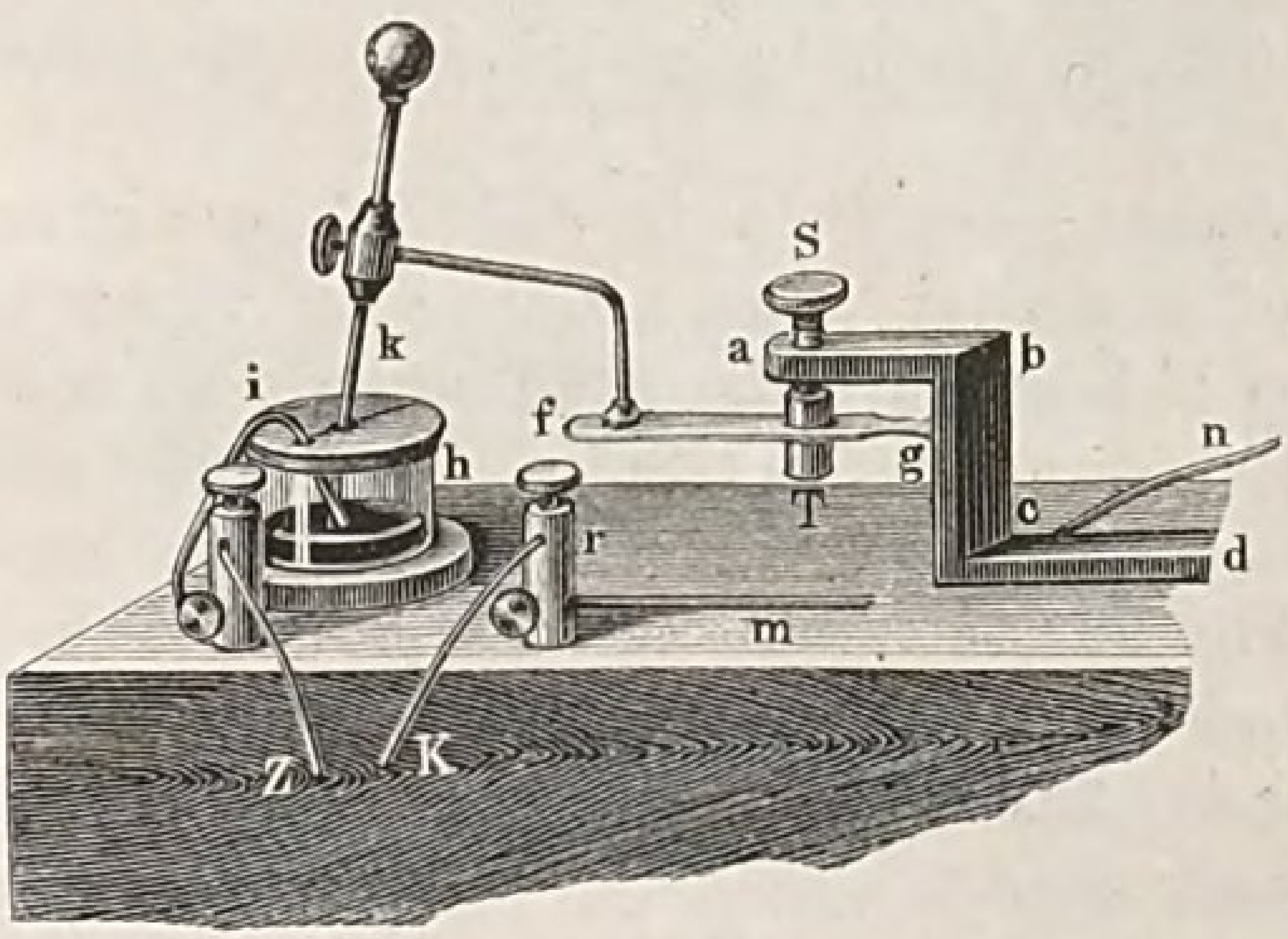


sichtlichkeit einige im Uebrigen unwesentliche Abweichungen von dem Ruhmkorff'schen Apparat vorgenommen wurden.

Wenden wir uns nun zur Betrachtung der von Stöhrer in Dresden construirten Funkeninductoren. Haupt- und Nebenspirale sind bei denselben vertical gestellt, wie man Fig. 584 sieht, welche einen kleinen Stöhrer'schen Apparat älterer Construction darstellt, die aber im Wesentlichen auch mit der Anordnung der neueren Apparate übereinstimmt. Die Hauptspirale *A*, deren Höhlung mit einem Bündel weicher Eisenstäbchen gefüllt ist, ist von der Nebenspirale *B* umgeben, welche hier aus drei Abtheilungen besteht. *s* und *t* sind die von isolirenden Glassäulen getragenen Platinspitzen, welche die Pole der Inductionsspirale bilden, zwischen denen also die Funken überspringen. *H* ist der Unterbrecher, welcher im Wesentlichen mit dem Wagner'schen Hammer übereinstimmt. Der Condensator befindet sich in einer Schieblade des Kastens, auf welchem der ganze Apparat steht.

Bei den neueren Apparaten hat Stöhrer zur Unterbrechung des Hauptstromes gleichfalls einen Quecksilber-Interruptor in Anwendung gebracht. Fig. 585 zeigt die Einrichtung desselben bei den kleineren Apparaten. Der horizontale Arm *cd* des zweimal rechtwinklig gebogenen Eisenstückes *abcd* erstreckt sich bis unter die vertical stehende Hauptspirale, und auf dem Ende dieses eisernen Streifens stehen die Eisenstäbchen auf, welche die Höhlung der Hauptspirale füllen. Wenn also der Strom durch die Hauptspirale geht und dadurch die Eisenstäbchen in ihrer Höhlung magnetisch werden, so wird auch das Eisenstück *abcd* sammt der unten etwas vorragenden eisernen Schraube *S* magnetisch. Die magnetische Schraube *S* zieht den eisernen Cylinder *T* an, welcher in dem federnden Messingstreifen *fg* befestigt ist. Sobald der Strom unterbrochen wird, schnellt die Feder wieder zurück. Die Verlängerung der Feder trägt einen Draht *k*, an welchem oben eine Kugel befestigt ist und welcher unten in das Quecksilber des Glasgefässes *h* eben eintaucht. Durch die Vibration der Feder *fg* wird der Draht *k* abwechselnd in das Quecksilber eingesenkt und herausgezogen. Durch den Draht *i* wird der Strom dem Quecksilber zugeführt, und wenn der Draht *k* in das (mit Weingeist bedeckte) Quecksilber eintaucht, so geht der Strom von *k* zur Feder *fg* zu dem Eisenstück *abcd*, von welchem aus derselbe durch den Draht *n* in die Hauptspirale eintritt. Nachdem er die Windungen derselben durchlaufen hat, wird er durch den Draht *m*

Fig. 585.



der Klemmschraube r und von dieser dem anderen Pol des Rheomotors zugeführt.

In unserer Zeichnung sind der Einfachheit wegen die zum Condensator führenden Kupferstreifen, sowie eine Vorrichtung zur leichten Unterbrechung des Stromes weggelassen.

Bei den grösseren Stöhrer'schen Funkeninductoren hat der Interruptor eine ganz ähnliche Einrichtung, nur ist er auf einem besonderen vom Stativ der Haupt- und Nebenspirale ganz getrennten Gestelle angebracht, weshalb denn auch die Schwingungen der Feder durch einen besonderen kleinen Elektromagnet bewerkstelligt und unterhalten werden. Hier ist es aber derselbe Strom, welcher die Windungen des Elektromagnets und die Windungen der Hauptspirale durchläuft.

Eine ganz eigenthümliche Einrichtung haben die Inductionsrollen der neueren Stöhrer'schen Apparate. Bei der gewöhnlichen Art, die Spiralen zu wickeln, bei welcher jede Lage einen hohlen Cylinder von der Gesammtlänge der Spirale bildet, sind der Anfang der einen und das unmittelbar darauf liegende Ende der folgenden Lage durch die Drahtlänge zweier ganzen Lagen getrennt, sie haben also eine bedeutende Spannungsdifferenz, in Folge deren die isolirende Zwischenschicht leicht durchbrochen wird.

Ist eine solche Durchbrechung erfolgt, so ist dadurch der wirksame Theil der Inductionsspirale um zwei ganze Drahtlagen vermindert. Poggendorff suchte diesen Uebelstand dadurch zu beseitigen, dass er die Inductionsspirale aus mehreren kürzeren Spiralen zusammensetzte. Nach diesem Princip ist dann auch die Inductionsspirale B der älteren Stöhrer'schen Apparate, Fig. 584, aus drei kürzeren Spiralen zusammengesetzt. Das innere Drahtende der mittleren Spirale ist mit dem äusseren der untersten, und das äussere Drahtende der mittleren ist mit dem inneren der obersten verbunden.

Bei seinen neueren Apparaten ist nun Stöhrer in dieser Richtung noch weiter gegangen, indem er die einzelnen Lagen nicht mehr so aufwickelt, dass sie einen hohlen Cylinder, sondern so, dass sie eine Scheibe bilden, deren Ebene rechtwinklig auf der Axe der Spirale steht. Wenn die Windungen einer Scheibe von Innen nach Aussen gehen, so gehen sie in der nächsten von Aussen nach Innen zurück etc.

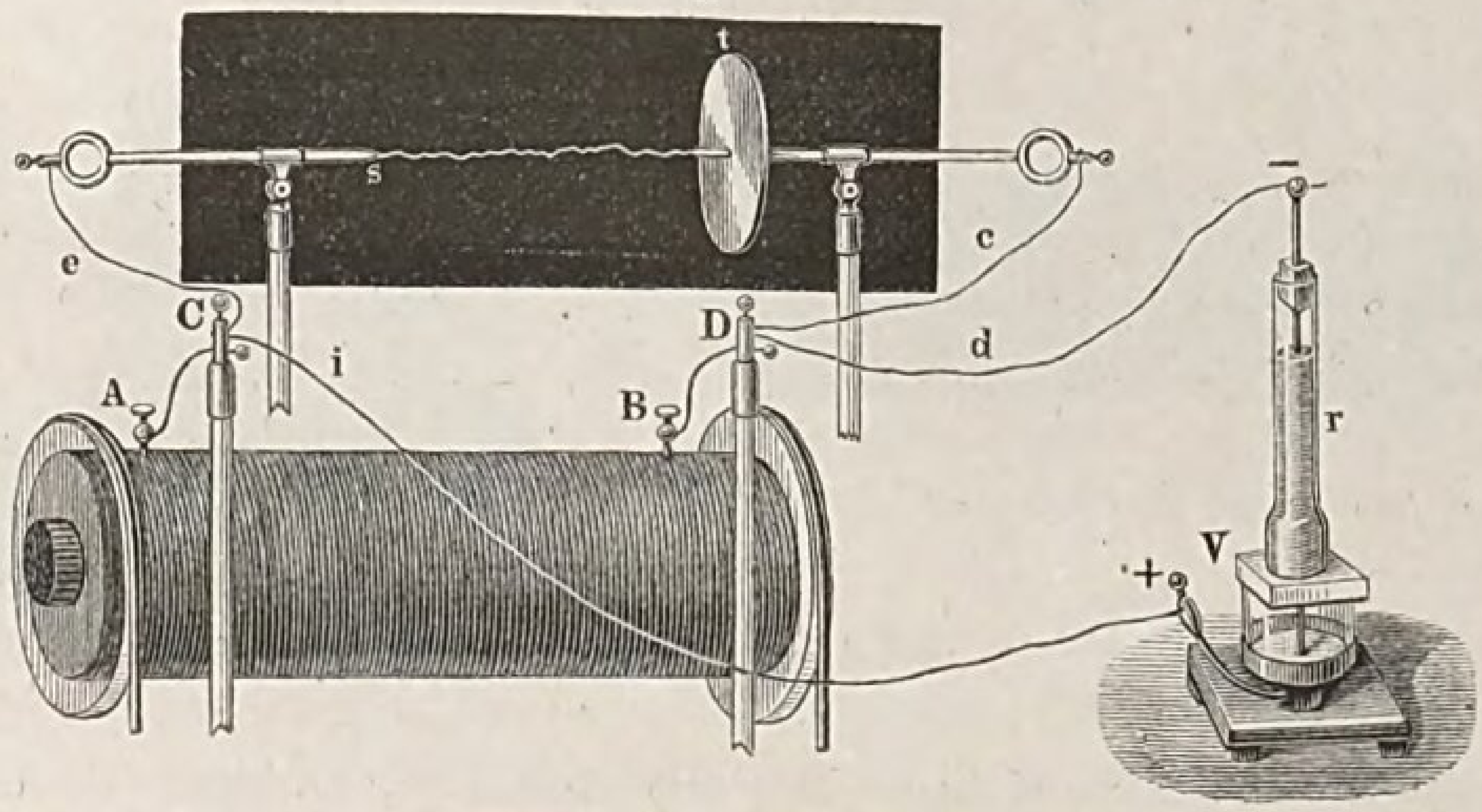
Der Draht der in gewöhnlicher Weise gewickelten Hauptspirale ist ungefähr 2 mm dick. Für die kleineren Apparate besteht sie aus vier Lagen zu je 80, bei den grösseren aus fünf Lagen zu je 120 Windungen. Für die Inductionsspirale verwendet Stöhrer einen Kupferdraht, welcher nur $\frac{1}{6}$ mm dick ist. Die kleineren Inductionsspiralen haben 18 400, die grösseren haben 36 900 Windungen, so dass die Drahtlänge der grösseren Stöhrer'schen Inductionsrollen ungefähr 12 600 m beträgt.

191 **Versuche mit dem Funkeninductor.** Sobald der Funkeninductor mit einer Säule von entsprechender Stärke in Verbindung ge-

bracht und der Interruptor in Thätigkeit gesetzt ist, springen zwischen den beiden Metallspitzen, die mit den Drahtenden der Inductionsrolle leitend verbunden sind, kräftige Funken über, und zwar auf eine Entfernung von 6 bis 8 cm bei den kleineren und auf 20 cm bei den grösseren Stöhrer'schen Apparaten. Die grössten Ruhmkorff'schen Apparate liefern 45 cm lange Funken.

Bei grösseren Apparaten wendet man einen besonderen Auslader an, zwischen dessen Spitzen die Funken überspringen. Fig. 582, Seite 646 zeigt, wie dieser Auslader mit dem Apparat zu verbinden ist. Bei dem Auslader der grösseren Stöhrer'schen Apparate stehen die Polspitzen in verticaler Richtung einander gegenüber. Um möglichst grosse Schlagweite zu erhalten, ist es vortheilhaft, die negative Polspitze mit einer Messingplatte von ungefähr 2 dm Durchmesser zu vertauschen, wie man Fig. 586 sieht. Wenn es sich nur um die zwischen *s*

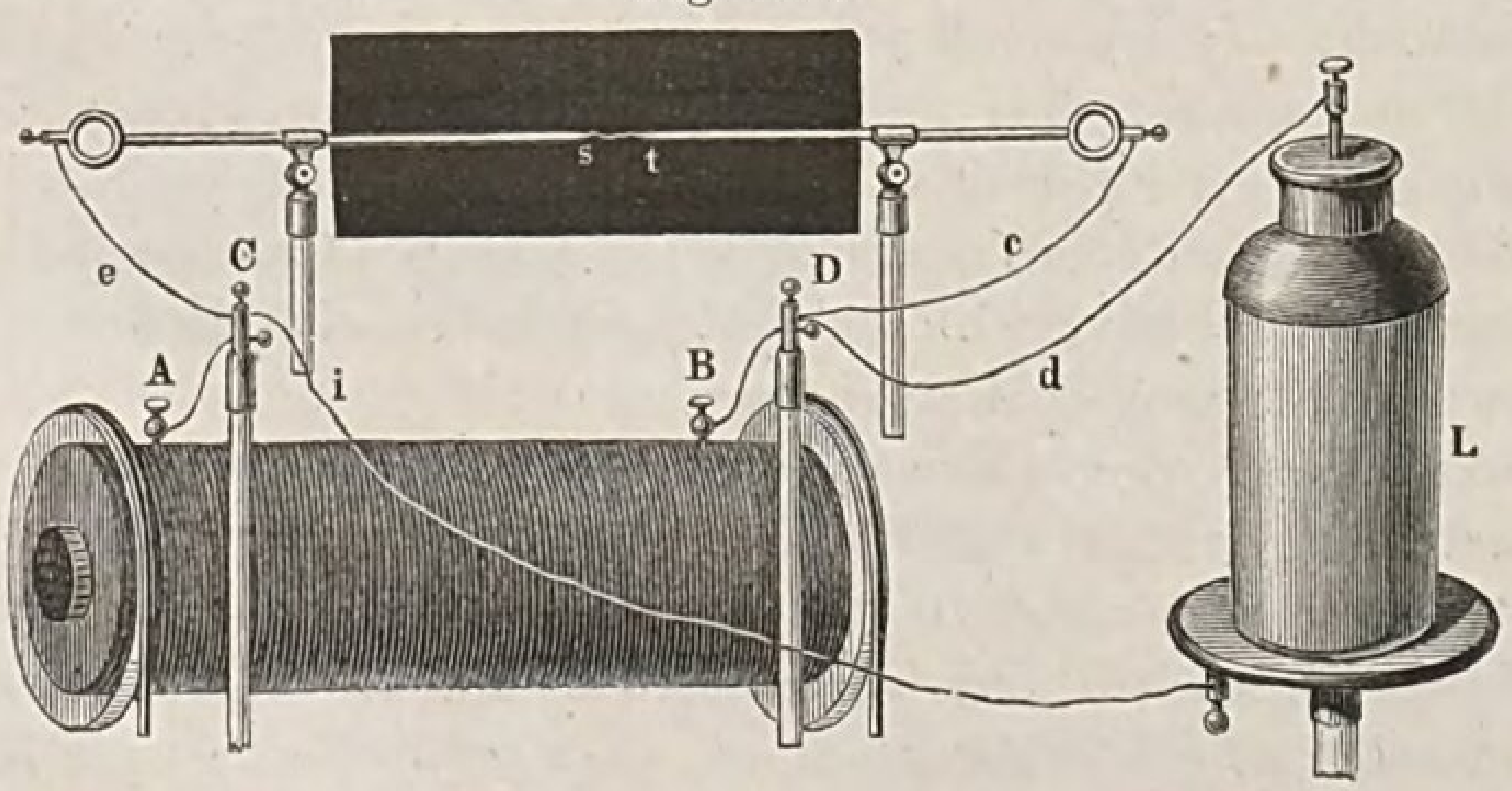
Fig. 586.



und *t* überspringenden Funken handelt, bleibt der alsbald näher zu besprechende Apparat *V* sammt den Zuleitungsdrähten *d* und *i* ganz weg.

Wenn man in der Weise, wie es Fig. 587 zeigt, eine Nebenschliessung herstellt, in welche eine kleine Leydener Flasche eingeschal-

Fig. 587.

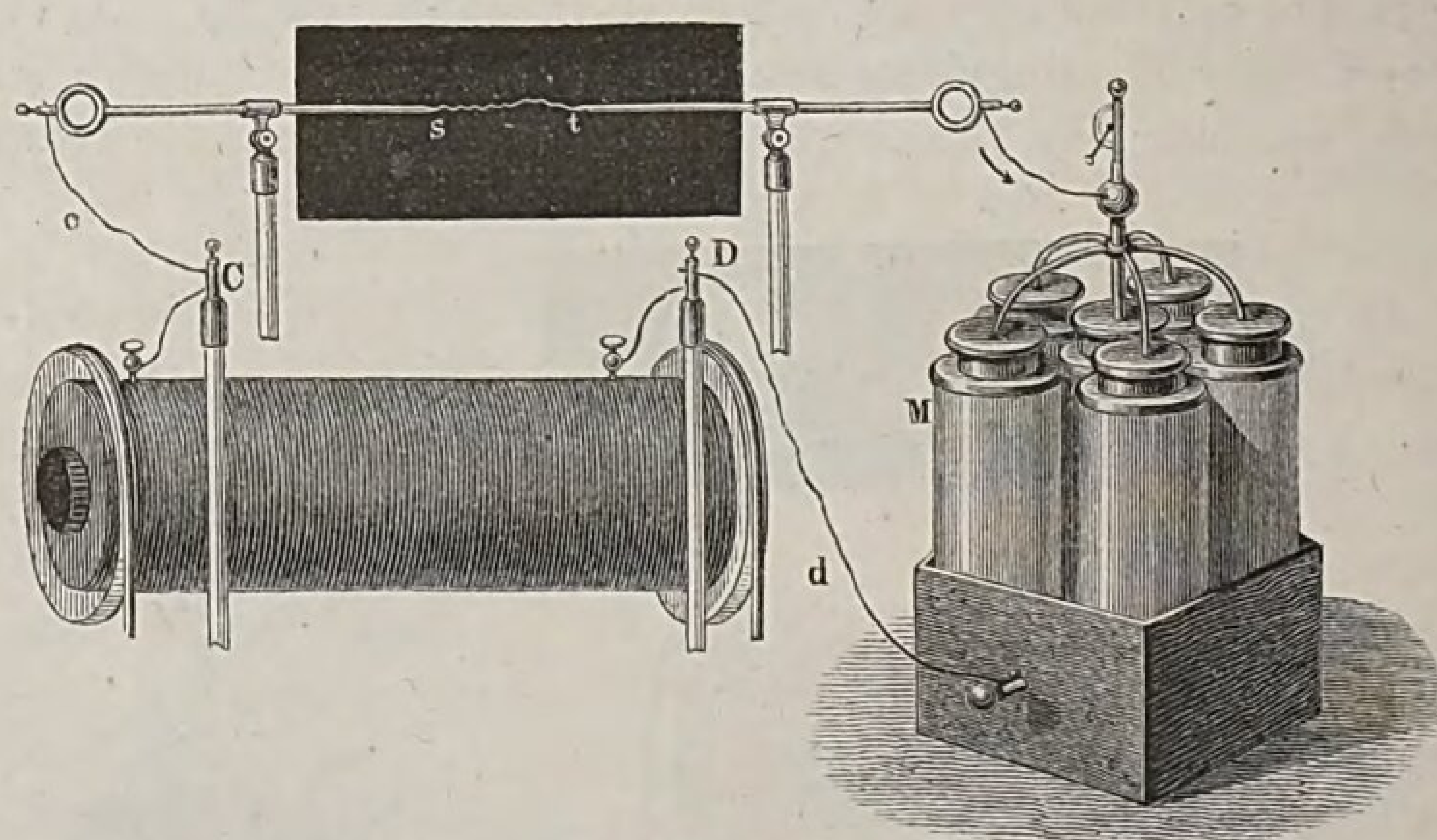


tet ist (die äussere Belegung ist durch den Draht *i* mit dem einen, die innere durch den Draht *d* mit dem andern Pol der Inductionsrolle ver-

bunden), wird die Elektricität erst bis zu einem gewissen Grade auf den Belegungen der Flasche angehäuft, ehe ein Ueberspringen des Funkens zwischen den Spitzen des Ausladers erfolgen kann, die aber nun mindestens bis auf die Schlagweite der Flasche genähert sein müssen. Die Funken sind also jetzt viel kürzer, aber weit kräftiger, blendend hell und von einem eigenthümlichen durchdringenden Geräusch begleitet. Die so erzeugten Funken sind es, welche zur Untersuchung der Metallspectra (Bd. II, S. 224) angewandt werden.

Um eine constante Ladung einer elektrischen Batterie zu erhalten, muss man das Arrangement Fig. 588 anwenden. Die Batterie ist

Fig. 588.



hier nicht in eine Nebenschliessung eingeschaltet, sondern in den Weg von dem einen Pol D der Inductionsspirale zur einen Spitze t des Ausladers, d. h. die äussere Belegung ist mit dem Pol D, die innere mit der Spitze t des Ausladers leitend verbunden. Vom Pol C führt dann ein Leitungsdraht zur andern Spitze s des Ausladers. Wenn die Spitzen s und t einander nahe gestellt sind, so ist eine constante Ladung der Batterie nicht möglich, weil jeder Schliessungsschlag der inneren Belegung die entgegengesetzte Elektricität derjenigen zuführt, welche beim Oeffnungsschlag von s nach t überspringt, wie denn auch bei dem in Fig. 587 dargestellten Arrangement die Flasche abwechselnd mit positiver und mit negativer Elektricität geladen wird. Da nun aber die Schlagweite für den Schliessungsschlag weit geringer ist als für den Oeffnungsschlag, so kann man eine constante Ladung der Batterie dadurch erzielen, dass man die Spitzen s und t so weit aus einander stellt, dass nur der Oeffnungsfunken zwischen ihnen überspringt.

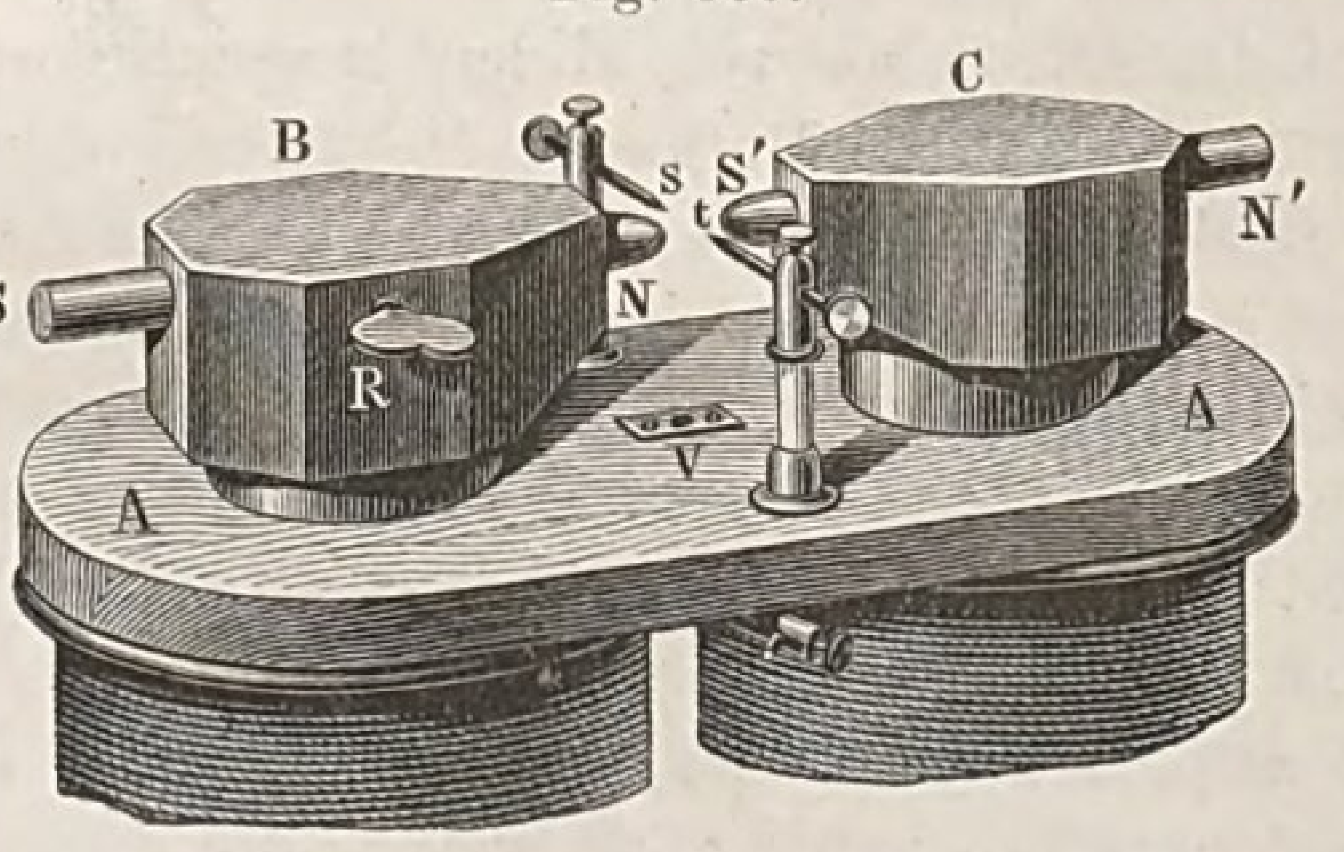
Wie bedeutend die mechanische Kraft des Entladungsschlages dieser Apparate ist, geht daraus hervor, dass er dicke Glasplatten durchzuschlagen im Stande ist; Fig. 586 zeigt das Arrangement des Versuchs. Eine Glasplatte V ist auf eine isolirte, mit dem Pol C der Inductions-

rolle verbundene Messingspitze aufgesetzt. Dieser Spitze gerade gegenüber steht das untere zugespitzte Ende eines Metalldrahtes *r*, welcher mit dem andern Pol *D* leitend verbunden ist. Um zu verhindern, dass der Entladungsschlag um die Glasplatte herumgeht, ist der Draht *r* mit einem Glasrohr umgeben, dessen Höhlung mit Harz ausgezogen ist. Sobald der Apparat in Gang gesetzt wird, wird die Glasplatte augenblicklich durchbohrt. Um zu verhindern, dass die isolirenden Schichten der Inductionsspirale selbst durchbrochen werden, wenn der Widerstand der Glasplatte zu gross sein sollte, sind die Pole *C* und *D* auch mit dem Auslader verbunden, wie die Figur zeigt, damit die Funken nöthigenfalls zwischen *s* und *t* überschlagen können. Es versteht sich von selbst, dass man zu diesem Versuch auch das auf S. 164 besprochene Holtz'-sche Glasrohr statt des in Fig. 586 dargestellten Apparates *V* verwenden kann.

Wenn die Spitzen des Ausladers *s* und *t* etwas näher zusammengestellt sind, so lassen sich an überschlagenden Funken deutlich zwei Theile unterscheiden, ein hellleuchtender Lichtstreif in der Mitte, welcher von einer orangerothen, weniger leuchtenden Aureole umgeben ist. Der leuchtende Lichtstreif ist, wie Lissajous durch die Beobachtung des Funkens in einem rotirenden Spiegel nachgewiesen hat, nur momentan, während die Aureole eine längere Dauer hat. Wenn man einen kräftigen Luftstrom gegen den Funken richtet, so wird der Lichtstreif dadurch nicht afficirt, während die Aureole auf die Seite geblasen und von dem Lichtstreif getrennt wird.

Sehr schön kann man diese Trennung auch hervorbringen, wenn man den Funken zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagnets überschlagen lässt. Fig. 589 zeigt eine an dem grossen Elektromagnet, Fig. 430, Seite 477, anzubringende Vorrichtung, um diesen Versuch anzustellen. Auf die beiden obersten Spulen wird ein Brett *A* aufgesetzt, über welches durch zwei in demselben angebrachte runde Ausschnitte die Eisenkerne des Elektromagnets noch etwas hervorragen. Auf diesem Brett können verschiedene Vorrichtungen für später zu besprechende Versuche aufgeschraubt werden. Für unsern Versuch sind zwei Glassäulchen aufgeschraubt, welche die mit den Polen der Inductionsspirale in leitende Verbindung zu setzenden Entladungsspitzen *s* und *t* tragen. Auf die oberen Enden der Eisenkerne sind nun die eisernen Halbanker *B* und *C* aufgesetzt, in welche cylinderförmige Höhlungen zur Aufnahme der Eisenstäbe *S N* und *S' N'* eingebohrt sind. Die

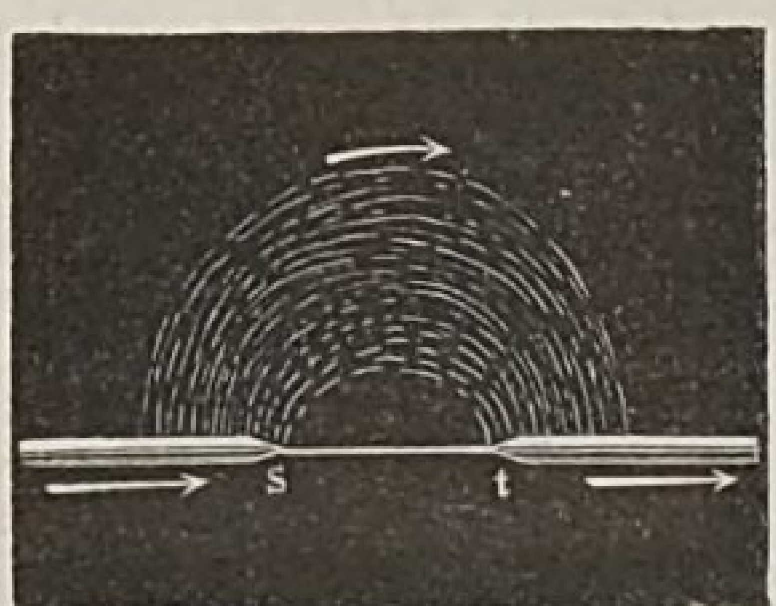
Fig. 589.



einander zugekehrten Enden dieser Eisenstäbe sind abgerundet, wie es die Figur zeigt. Man kann diese Stäbe in ihren Höhlungen vor- und rückwärts schieben und in beliebiger Stellung durch Stellschrauben R und R' (R' ist als auf der Rückseite von C befindlich nicht sichtbar) feststellen.

Wenn man die Entladungsfunken zwischen den 1 bis 2 cm von einander abstehenden Polspitzen überschlagen lässt und dann den Elektromagnet in Thätigkeit setzt, so bleibt der helle Lichtstreif ungeändert, die lichtschwächere Aureole aber wird zu einer halbkreisförmigen Scheibe zusammengedrückt, deren Ebene rechtwinklig steht auf der Verbindungslinie der Pole, ungefähr wie es in Fig. 590 und in Farben in Fig. 3 auf beigegebener Tafel dargestellt ist. Je nach der Stromrichtung der Entladungsfunken und der Polarität des Elektromagnets ist die halbkreisförmige Lichtscheibe entweder von st nach oben oder nach unten gerichtet. Sie hat die in Fig. 590 dargestellte Lage, wenn der positive Strom von s nach t geht und S' ein Südpol ist. Wird entweder die Polarität des Magnets oder die Richtung der Entladungsfunken geändert, so kehrt sich die Lichtscheibe nach unten.

Fig. 590.



Die Lichtscheibe nimmt stets eine solche Lage an, dass der in ihr von dem einen Poldraht zum andern übergehende positive Strom gleichgerichtet ist mit den Molecularströmen der zu seinen beiden Seiten befindlichen Magnetpole.

Auch für die Praxis hat der Funkeninductor bereits eine Bedeutung erlangt, indem er nämlich beim Anzünden von Minen ausgezeichnete Dienste leistet. Die oben S. 378 erwähnte Methode, die Minen durch einen galvanisch glühenden Draht zu entzünden, lässt sich nicht mehr mit Erfolg anwenden, wenn es sich darum handelt, mehrere benachbarte Minen vollkommen gleichzeitig zu entzünden, weil man es nicht wohl dahin bringen kann, dass die dünnen Drähtchen in allen vollkommen gleich ausfallen. So geschieht es denn, dass das Glühen des Drähtchens in einer Patrone einen etwas schwächeren Strom erfordert als in den anderen; diese Patrone wird zunächst entzündet, und wenn durch ihr Abbrennen die Leitung einmal unterbrochen ist, so bleiben die anderen in die gleiche Leitung eingeschalteten Minen unentzündet.

Es ist deshalb der Methode der Glühzündung in diesem Falle die der Funkenzündung vorzuziehen. Den dazu nöthigen elektrischen Funken erhält man entweder, wie im §. 60 gezeigt wurde, durch eine Reibungselektrisirmaschine oder durch einen Funkeninductor. Siemens und Markus haben zu diesem Zwecke eigene Mineninductionsapparate construirt, deren Principien wir später kennen lernen werden. (Siehe

auch A. von Waltenhofen, über elektrische Zündungen in grossen Entfernungen. Abhandl. d. k. böhm. Ges. d. W. VI, 8, 1876.)

Lässt man dagegen durch eine Drahtleitung, in welcher mehrere Unterbrechungsstellen befindlich sind, eine elektrische Entladung durchschlagen, welche in Form von Funken durch die Lücken übergehen muss, so wird der Funken gleichzeitig an allen Unterbrechungsstellen auftreten; wenn es sich um gleichzeitiges Sprengen mehrerer Minen handelt, ist deshalb die Entzündung durch den elektrischen Funken der Entzündung durch den glühenden Draht vorzuziehen.

Den zum Entzünden der Minen nöthigen Funken liefert der Inductionsapparat mit grösster Sicherheit. Da nun aber, wie wir bereits in §. 60 erfahren haben, der Funke das Pulver nicht leicht direct entzündet, so muss an der Unterbrechungsstelle ein Körper angebracht sein, bei welchem dies leichter der Fall ist und welcher dann die Entzündung des Pulvers vermittelt. Bei den Stateham'schen Zündern geschieht dies auf folgende Weise.

Stateham hat nämlich gefunden, dass ein mit geschwefelter Guttapercha überzogener Kupferdraht sich im Lauf einiger Monate mit einer Schicht von Schwefelkupfer überzieht. Wenn man an irgend einer Stelle eines solchen Drahtes die obere Hälfte der Guttaperchahülle entfernt und dann in diesem Ausschnitt ein kurzes Stückchen des Drahtes selbst wegnimmt, so bleibt an der Unterbrechungsstelle zwischen den beiden Drahtenden die erwähnte Schicht von Schwefelkupfer an der Guttapercha haftend zurück. Wenn nun an dieser Stelle ein kräftiger Funken überschlägt, so macht er diese Schwefelkupferschicht glühend und entzündet die Pulverladung, wenn sich die fragliche Unterbrechungsstelle innerhalb der Sprengpatrone befindet.

Der Inductionsfunken im gasverdünnten Raume. Im §. 64 haben wir bereits auf die Erscheinung des elektrischen Lichtes im verdünnten Raume aufmerksam gemacht und uns vorbehalten, auf diesen Gegenstand zurückzukommen, nachdem wir den Inductionsapparat kennen gelernt. Die Entladungen des Funkeninductors sind nämlich zu solchen Versuchen besonders gut geeignet. 192

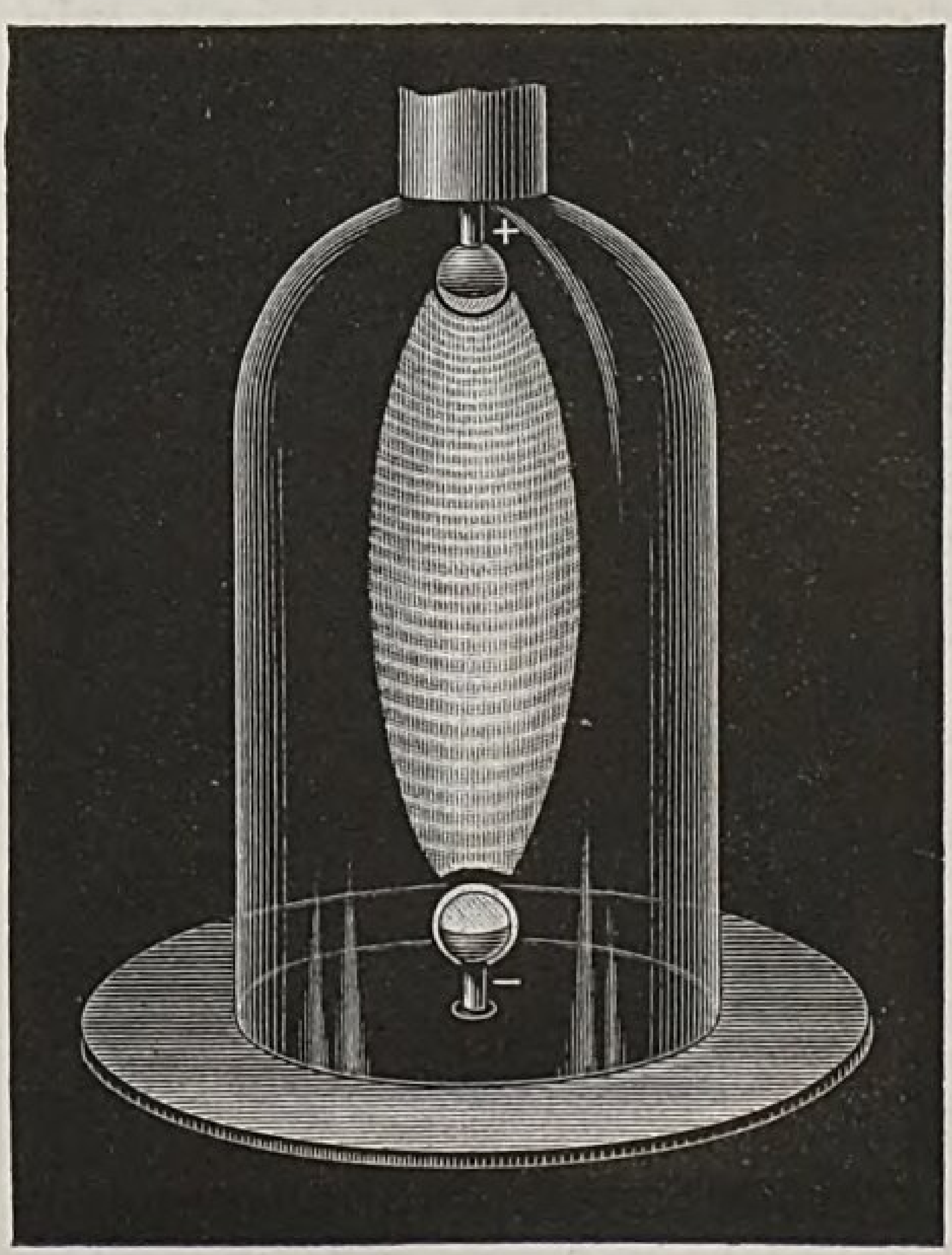
Die Literatur und das Beobachtungsmaterial über die Erscheinungen bei der elektrischen Entladung durch den gasverdünnten Raum ist in der letzteren Zeit sehr angeschwollen. Wir können davon hier nur das Wichtigste mittheilen, um so mehr, da wir bereits in der Optik das auf die Spectralanalyse des Funkenlichtes Bezügliche abgehandelt haben.

Um die prachtvolle Erscheinung zu beobachten, welche die Entladung des Funkeninductors durch den verdünnten Raum hervorbringt, kann man sich des oben §. 64 beschriebenen sogenannten elektrischen Eies oder auch einer Luftpumpenglocke bedienen, welche mit einer Stopfbüchse versehen ist, durch welche ein unten eine Kugel tragender Stab hindurchgeht; bei Anwendung einer solchen Glocke wird

dann in die centrale Oeffnung des Luftpumpentellers ein kurzes Stäbchen eingesteckt, welches die untere Kugel trägt, wie dies Fig. 591 zu sehen ist. Der Luftpumpenteller wird mit dem einen, die Fassung der Glocke mit dem andern Pole des Funkeninductors in leitende Verbindung gebracht. Von den beiden Kugeln, zwischen welchen die Elektricität übergehen soll, muss jeder Firnissüberzug entfernt sein.

Wenn so weit ausgepumpt ist, dass die Barometerprobe bis auf 1, höchstens 2 mm heruntergegangen ist und die positive Elektricität von der oberen Kugel zur unteren herabströmt, so beobachtet man die Erscheinung, wie sie Fig. 591 abgebildet ist. Die negative Kugel erscheint von einem tiefblauen Lichte eingehüllt, von der positiven Kugel aber strömt ein purpurrother Lichtschein aus, der beinahe bis zur negativen Kugel reicht und in welcher man eine schwarze Streifung wahrnimmt, welche besonders deutlich hervortritt, wenn man vor dem Auspumpen einige Tropfen Alkohol, Aether oder Terpentinöl in den Recipienten gebracht hatte.

Fig. 591.



Diese Streifung beobachtet man selbst in dem Falle, dass die Lichterscheinung nur momentan durch eine einmalige Unterbrechung des Hauptstromes hervorgebracht wird.

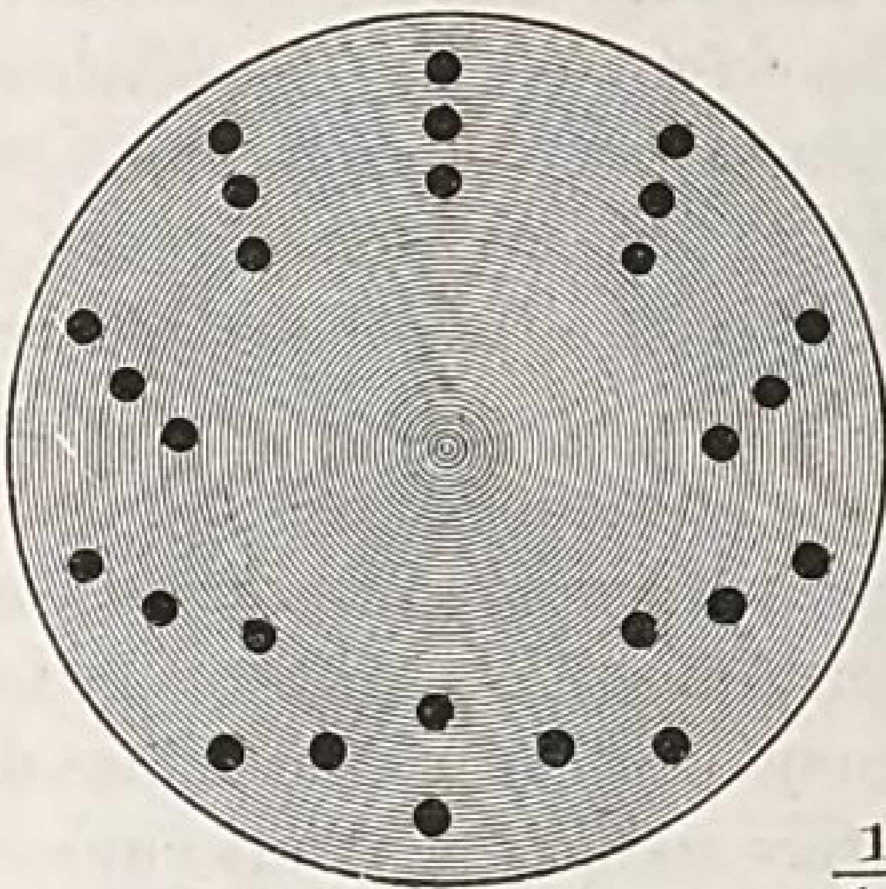
Selbst kleinere Inductionsapparate reichen hin, um die eben beschriebene Lichterscheinung im leeren Raume hervorzubringen.

Das rothe Licht des positiven Poles ist von der blauen Hülle der negativen Kugel stets durch einen vollkommen dunkeln Zwischenraum getrennt.

Obgleich man auf den ersten Anblick glauben könnte, dass ein continuirlicher Lichtstrom von dem positiven Pole ausgesendet wird, so kann man sich doch leicht davon überzeugen, dass dies nicht der Fall ist. Die Lichterscheinung tritt stossweise bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes auf; bei der raschen Bewegung des Unterbrechers folgen aber diese Lichtblitze so rasch auf einander, dass man sie nicht mehr als einzelne unterscheiden kann. Dass die Sache sich in der That so verhält, geht unter anderem auch daraus hervor, dass, wenn man in der Nähe des durchströmten Recipienten irgend einen Gegenstand, etwa eine Hand, hin und her bewegt, man dieselbe vielfach zu sehen glaubt. Am schla-

gendsten hat es Poggendorff auf folgende Weise dargethan. Eine weisse Pappscheibe von ungefähr 20 cm Durchmesser ist in drei concentrischen Kreisen mit schwarzen runden Flecken bemalt, wie es Fig. 592 zeigt. Der äussere Kreis enthält deren 10, der mittlere 9, der innere 8. Dreht man nun die Scheibe mit langsam gesteigerter Schnelligkeit, so wird man bald dahin kommen, dass die Flecke des mittleren Kreises still zu stehen scheinen, während die des äusseren vorwärts, die des inneren rückwärts laufen. Diese Erscheinung muss offenbar eintreten, wenn die Scheibe während einer Vibration des Hammers gerade um 40° gedreht wird.

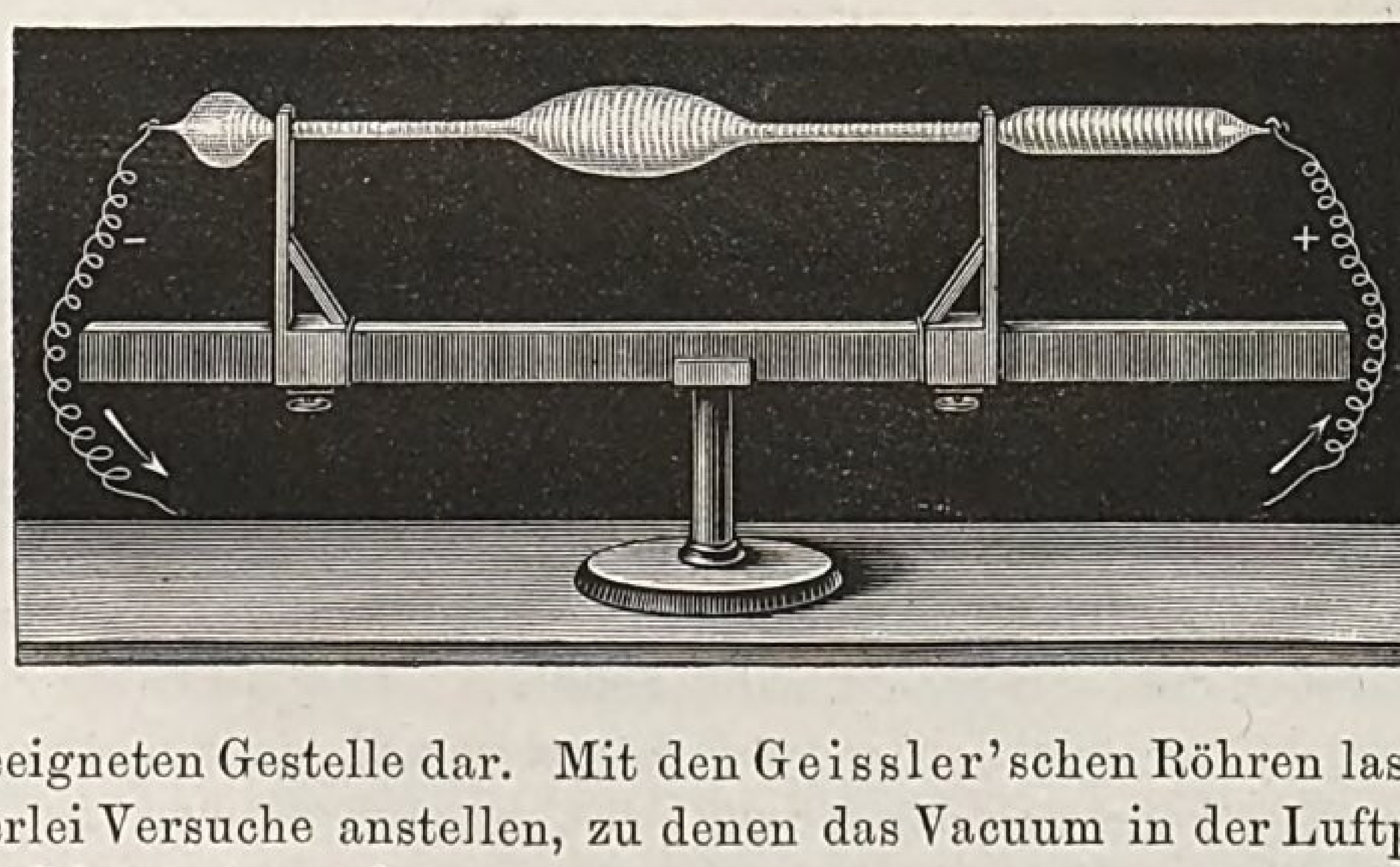
Fig. 592.



$\frac{1}{10}$

Um den leeren Raum nicht jedesmal mit Hülfe der Luftpumpe herstellen zu müssen und stets evacuirte Räume für den Versuch bereit zu haben, hat, wie wir schon im Band II, 1, S. 227 mitgetheilt haben, Geissler (und vor ihm schon Gassiot) evacuirte, zugeschmolzene Glasröhren hergestellt, in welchen sich verschiedene Gase in sehr verdünntem Zustande befinden und in welchen Platinelektroden ein- für allemal eingeschmolzen sind. Zur Herstellung dieser Röhren hat Geissler die bereits im ersten Bande besprochene Quecksilberluftpumpe construirt. Fig. 593 stellt eine solche Röhre mit sammt dem zur Aufstellung geeigneten Gestelle dar. Mit den Geissler'schen Röhren lassen sich mancherlei Versuche anstellen, zu denen das Vacuum in der Luftpumpenglocke nicht geeignet ist.

Fig. 593.



Auch hier zeigt sich das violette Glimmlicht am negativen Poldraht, während von dem positiven Poldraht ein Lichtstrom ausgeht, in welchem man die vorher besprochene Schichtung des elektrischen Lichtes meist in ausgezeichneter Weise beobachtet. Fig. 3 auf beigegebener Tafel ist eine möglichst getreue Abbildung dieser schönen Er-

42*

scheinung, wie man sie in einer luft- oder stickstoffhaltigen Röhre beobachtet.

Die Farbe des vom positiven Pole ausgehenden Lichtstromes hängt von verschiedenen Umständen ab, und zwar zunächst davon, welches Gas in verdünntem Zustande die Röhre erfüllt, so ist sie z. B. bleichweissgrau in Röhren, welche Quecksilberdampf enthalten. Ferner hängt die Färbung des Lichtstromes von der Weite der Röhren ab; so erscheint z. B. der Lichtstrom in dem engen Theile einer mit verdünntem Wasserstoffgas gefüllten Röhre prachtvoll purpurroth, während er in dem weiteren Theile der Röhre von blassblaugrüner Färbung erscheint.

Endlich hängt die Färbung des Lichtstromes auch von der Intensität des Stromes ab, welcher durch das verdünnte Gas entladen wird; die intensiv purpurrothe Färbung, welche man in dem engen Theile der Wasserstoffröhre beobachtet, wenn man kräftige Inductionsströme anwendet, wird matter und mehr orangeroth für schwächere Ströme und blassbläulich, wenn man die Funken vom Conductor der Elektrisirmaschine durchschlagen lässt.

Bei fortgesetztem Durchleiten des Stromes in derselben Richtung bedeckt sich bald die Glaswand, welche die negative Elektrode umgiebt, mit einem metallischen Anflug, während die Elektrode selbst rauh und corrodirt erscheint. Die Farbe des Anflugs entspricht der des fein vertheilten Metalles der Elektrode; er ist bläulich bei Silber, schwärzlich bei einer Platinelektrode. — Eine negative Elektrode von Aluminium scheint verhältnissmässig wenig corrodirt zu werden.

Im Bande II, 1, Seite 279 haben wir von der starken Fluorescenzwirkung des Lichtes des elektrischen Funkens gesprochen. Um dieselbe zu zeigen, kann man in der Weise verfahren, dass man auf den Teller der Luftpumpe zunächst ein Stück Drahtnetz legt und auf dieses einen Becher von Uranglas setzt, wie Fig. 594 zeigt. Der durch die Stopfbüchse herabgehende, unten mit einer isolirenden Glasröhre umgebene Messingstab wird dann so weit herabgeschoben, dass die Kugel, welche er trägt, auf dem Boden des Becherglases aufsitzt. Wenn man nun, nachdem die Glocke gehörig evacuirt ist, den Körper der Luftpumpe mit dem negativen, den Messingstab m mit dem positiven Pol des Inductors in Verbindung setzt, so strömt das purpurne Licht in Form einer Cascade über den Rand des Glases, welches im Gegensatz zu diesem rothen Feuerstrom im herrlichsten grünen Lichte strahlt.

Um die Fluorescenz an anderen Körpern, z. B. an Edelsteinen, bequem zu zeigen, kann man sich der von Crookes angegebenen Vorrichtung Fig. 595 bedienen. Das mit sehr verdünnter Luft gefüllte zugeschmolzene Glasgefäss enthält eine Anzahl von Edelsteinen. Bei N und P sind Elektroden eingeschmolzen. Verbindet man dieselben mit den Polen eines Funkeninductors, so erglänzen die Edelsteine in prachtvollen Farben. Rubine strahlen dabei ein herrlich rothes Licht aus, welches im Spektroskop eine ausgeprägte Linie nahe bei der Fraunhofer'schen Linie B

erkennen lässt; Phenakit (Beryllerde-Silikat) leuchtet blau, Spodumen (Thonerde- und Lithion-Silikat) goldgelb, Smaragd karmoisinroth,

Fig. 594.

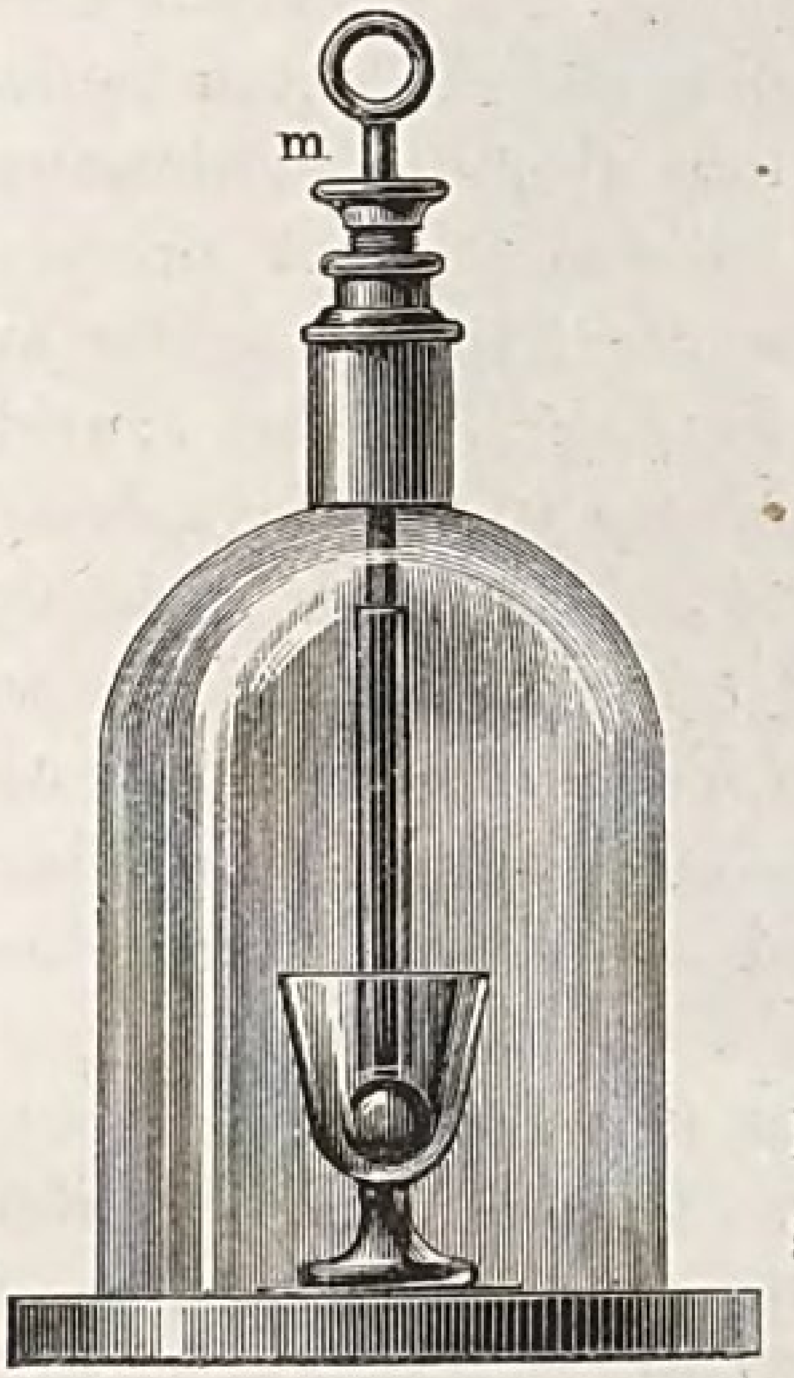
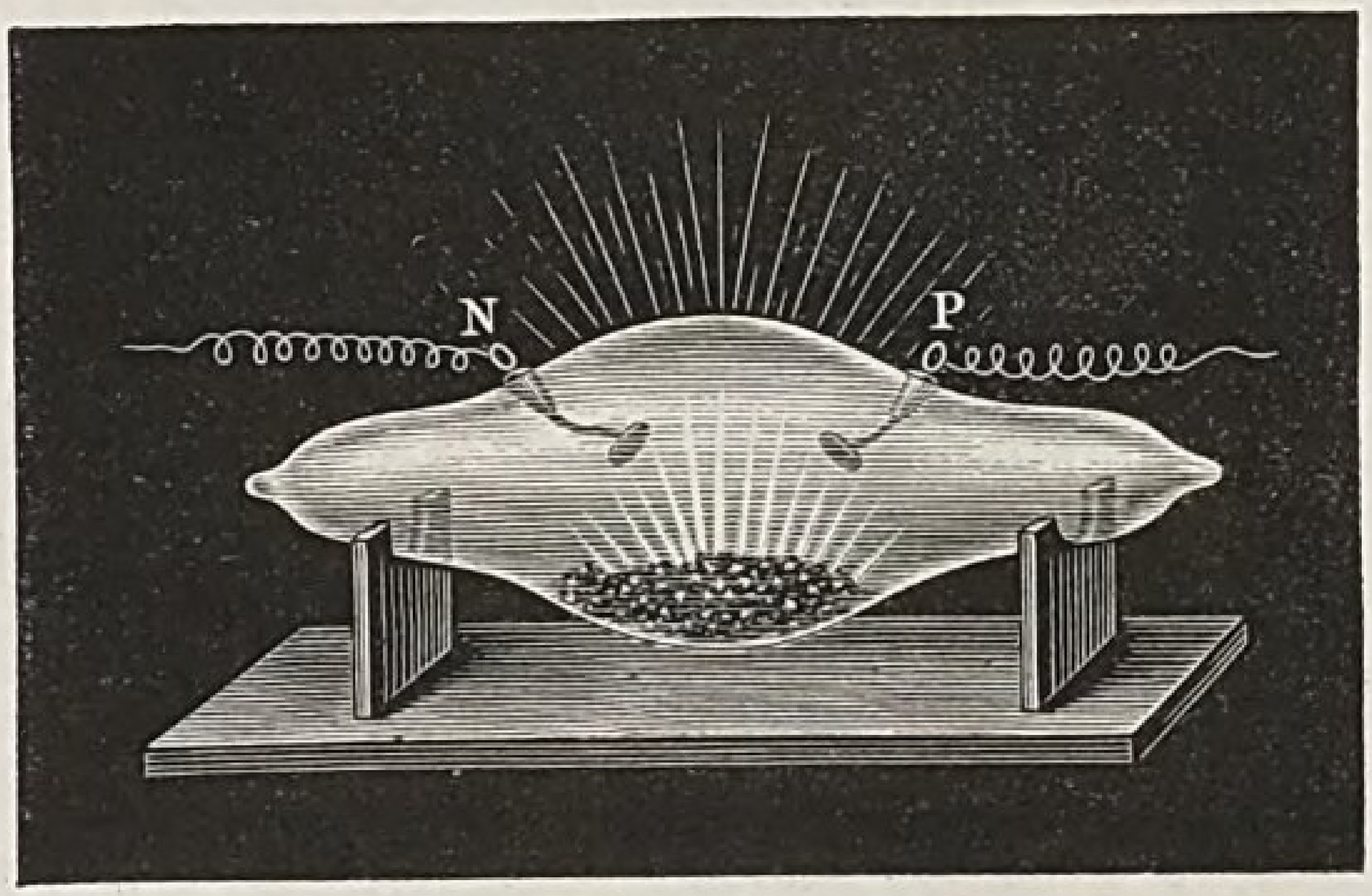


Fig. 595.



Diamant grün, Schwefelcalcium (künstlich dargestellter Leuchtstein) blauweiss etc.

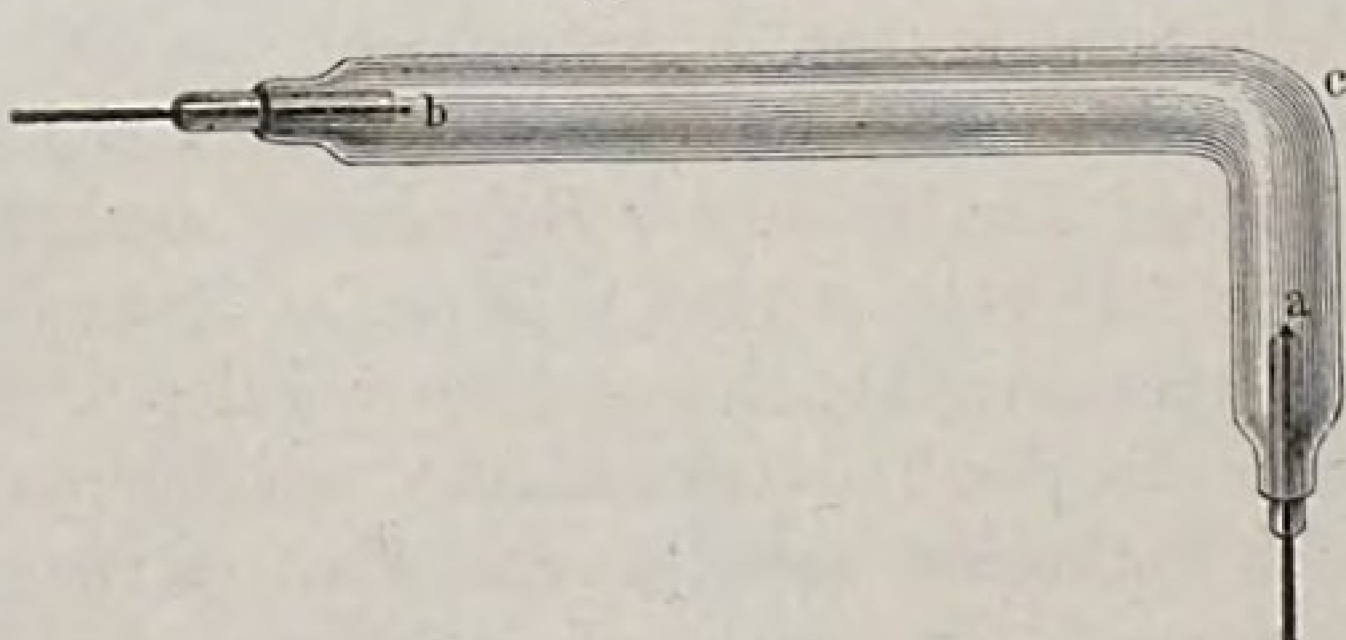
Eine artige Spielerei wird auf die Weise zu Stande gebracht, dass man eine aus fluorescirendem Glase hergestellte Geissler'sche Röhre mittelst eines elektromagnetischen Motors um eine auf der Mitte der Röhrenaxe senkrecht angebrachte horizontal liegende Axe rotiren lässt. Derselbe Strom, der diesen elektromagnetischen Motor betreibt, liefert dann bei den Unterbrechungen des Commutators auch den Inductionsstrom, welcher durch die Geissler'sche Röhre sich entladend dieselbe mit Fluorescenzlicht erleuchtet. Man erhält so einen schönen leuchtenden Stern.

Hittorf's und Crookes' Versuche mit elektrischen Entladungen in sehr stark verdünntem Raume. W. Hittorf hat im Jahre 1869 in einer wichtigen Abhandlung „Ueber die Elektricitätsleitung in Gasen" (Poggend. Ann. 136, S. 1 und 197) eine Anzahl von Phänomenen beschrieben, welche sich bei der Entladung von Inductionsfunken durch Glasgefässe zeigen, deren Luft man über die gewöhnlich erreichbaren Verdünnungsgrade hinaus verdünnt hat. Der englische Physiker Crookes hat dann später unabhängig im Wesentlichen die nämlichen Beobachtungen gemacht und auf dieselben eine eigenthümliche Hypothese gegründet, welche auf der Annahme eines vierten Aggregatzustandes beruht. Die in diesem Zustande befindlichen Körper nannte er, einer älteren Ausdrucksweise Faraday's folgend, „strahlende Materie", da sie gewisse Eigenschaften und Bewegungsgesetze zu besitzen schien, welche an die Licht- und Wärmestrahlen erinnern. Obwohl nun diese Hypothese von Crookes von der Mehrzahl der Physiker nicht adoptirt, sondern bekämpft wurde, so sind doch die ihr zu Grunde liegenden Erscheinungen von hohem Interesse. 193

Wir haben oben erwähnt, dass die negative Elektrode in einer mit verdünnter Luft erfüllten Geissler'schen Röhre zunächst von einem schmalen hellen Saume, dann von einem relativ dunkeln bläulichen Raume (Glimmlicht) umgeben sei, während die Umgebung der positiven Elektrode und der grösste Theil des Zwischenraumes mit Schichten hellen, rothgelben Lichtes erfüllt wird. Treibt man nun aber die Verdünnung so weit, bis der Druck unter 2 mm gesunken ist und steigert sie dann noch weiter, so breitet sich das bläuliche Glimmlicht immer weiter aus und erfüllt unter Umständen das ganze Innere der Röhre. Dabei erweckt das Glimmlicht dort, wo es das Glas trifft, lebhafte Fluorescenz desselben. Das Merkwürdigste ist aber der Umstand, dass dieses Licht von der Elektrode aus sich nur geradlinig ausbreitet und nicht, wie sonst der Inductionsfunke zu thun pflegt, um Ecken herum geht und allen Krümmungen der Röhre folgt. Jeder in die Richtung des Glimmlichtes gestellte Körper begränzt dasselbe und erzeugt dadurch einen Schatten auf der Glaswand.

Hittorf hat diese Eigenthümlichkeit des negativen Glimmlichtes mittelst des Apparates Fig. 596 nachgewiesen. *b c a* ist ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr mit Elektroden an den Enden *a* und *b*. Bei geringen Verdünnungen, bei welchen das Glimmlicht nur geringe Ausdehnung hat, geht der Funke einfach um das Eck herum von der einen Elektrode zur andern. Hat aber bei stärkerer Verdünnung das Glimmlicht sich weiter ausgebreitet und ist *a* die negative Elektrode, so gehen die Strahlen des Glimmlichtes von *a* nur bis *c*, stossen daselbst an und erleuchten daselbst das Glas im Fluorescenzlicht.

Fig. 596.



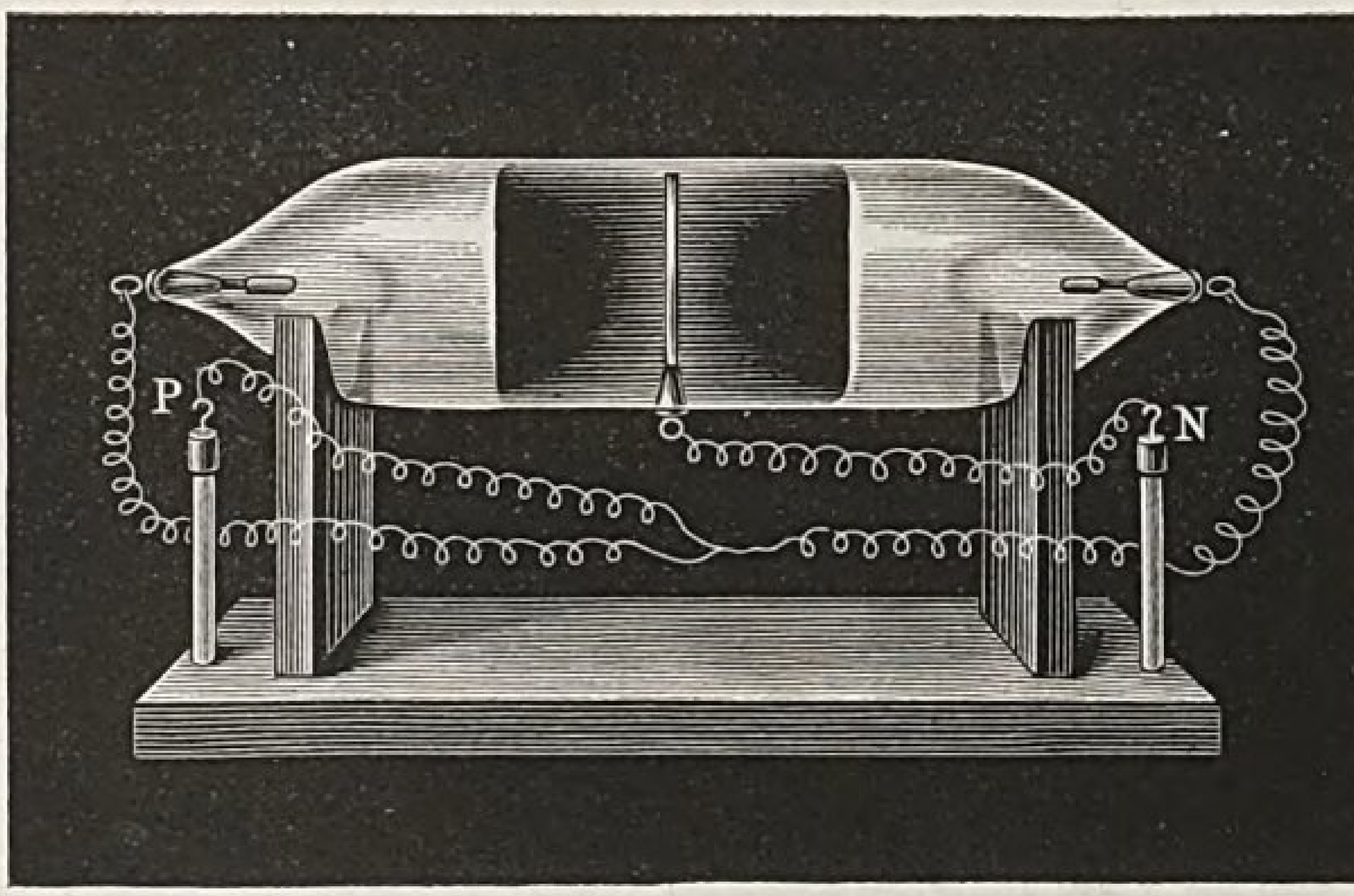
Ist *b* die negative Elektrode, so geht das Glimmlicht höchstens bis *c*, nie biegt es um die Ecke. Crookes hat das Verhalten des Glimmlichtes durch folgende Experimente gezeigt:

In Fig. 597 ist eine Röhre abgebildet, welche in der Mitte eine negative Elektrode in Form einer Aluminiumscheibe, an beiden Enden positive Elektroden der gewöhnlichen Form besitzt. Sie zeigt, wenn sehr stark evacuirt, wie sich der dunkle Raum auf beiden Seiten von der negativen Elektrode eine Strecke weit ausbreitet. Je verdünnter die Luft ist, desto weiter erstreckt sich dieser Raum.

Die Apparate Fig. 598 dienen zur Demonstration der geradlinigen Ausbreitung. Fig. 598 *A* zeigt die Erscheinung in einem Glasgefässe, in welchem die Verdünnung noch nicht weiter als bis 2 mm Druck getrieben ist. Verbindet man den negativen Pol des Inductionsapparates mit der Elektrode *a*, welche die Form eines kleinen Hohlspiegels hat, und

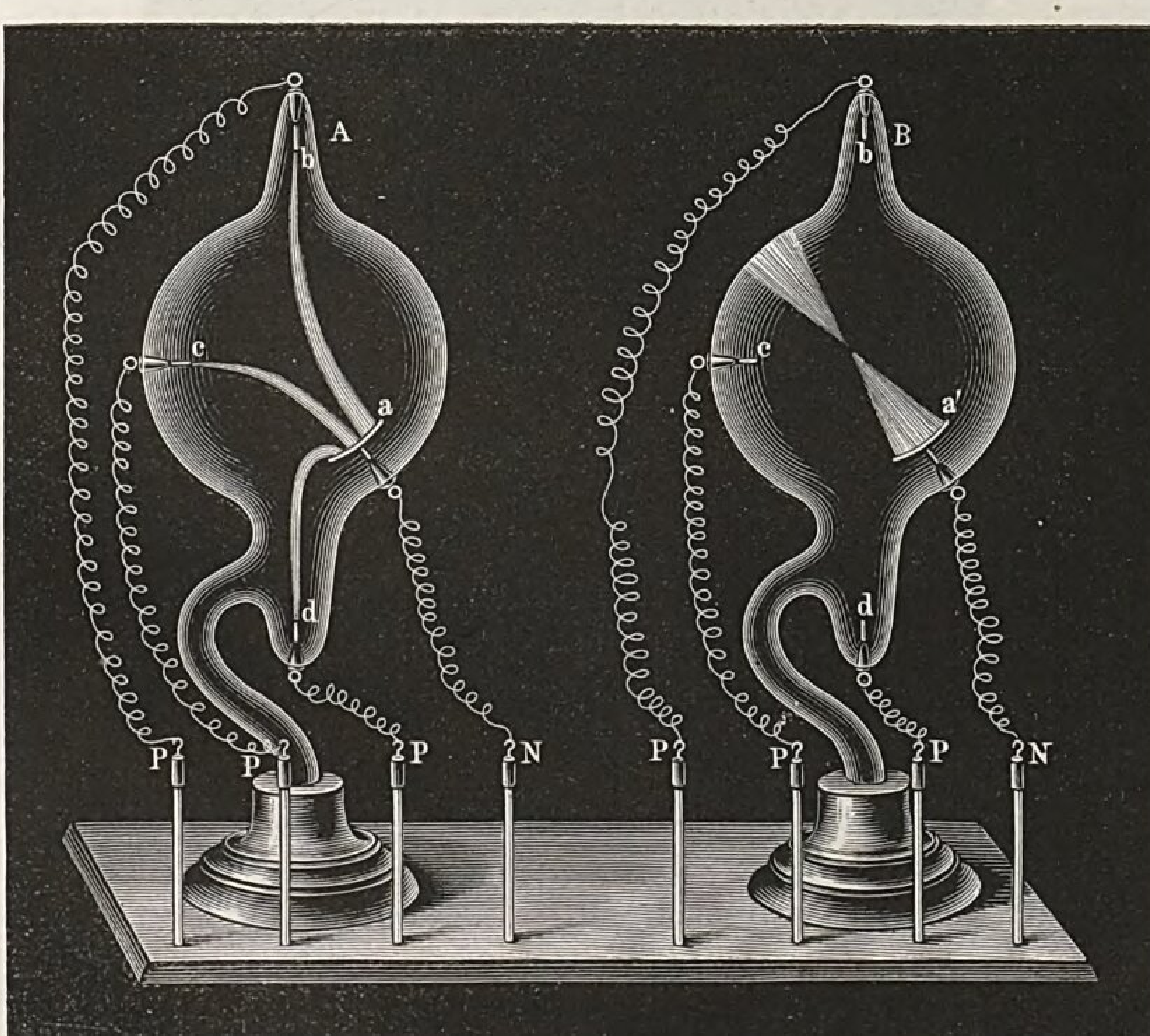
dann der Reihe nach den positiven Pol mit der Elektrode in *b*, *c* oder *d*, so geht der Funkenstrom in krummen Bahnen durch den Raum. Hat

Fig. 597.



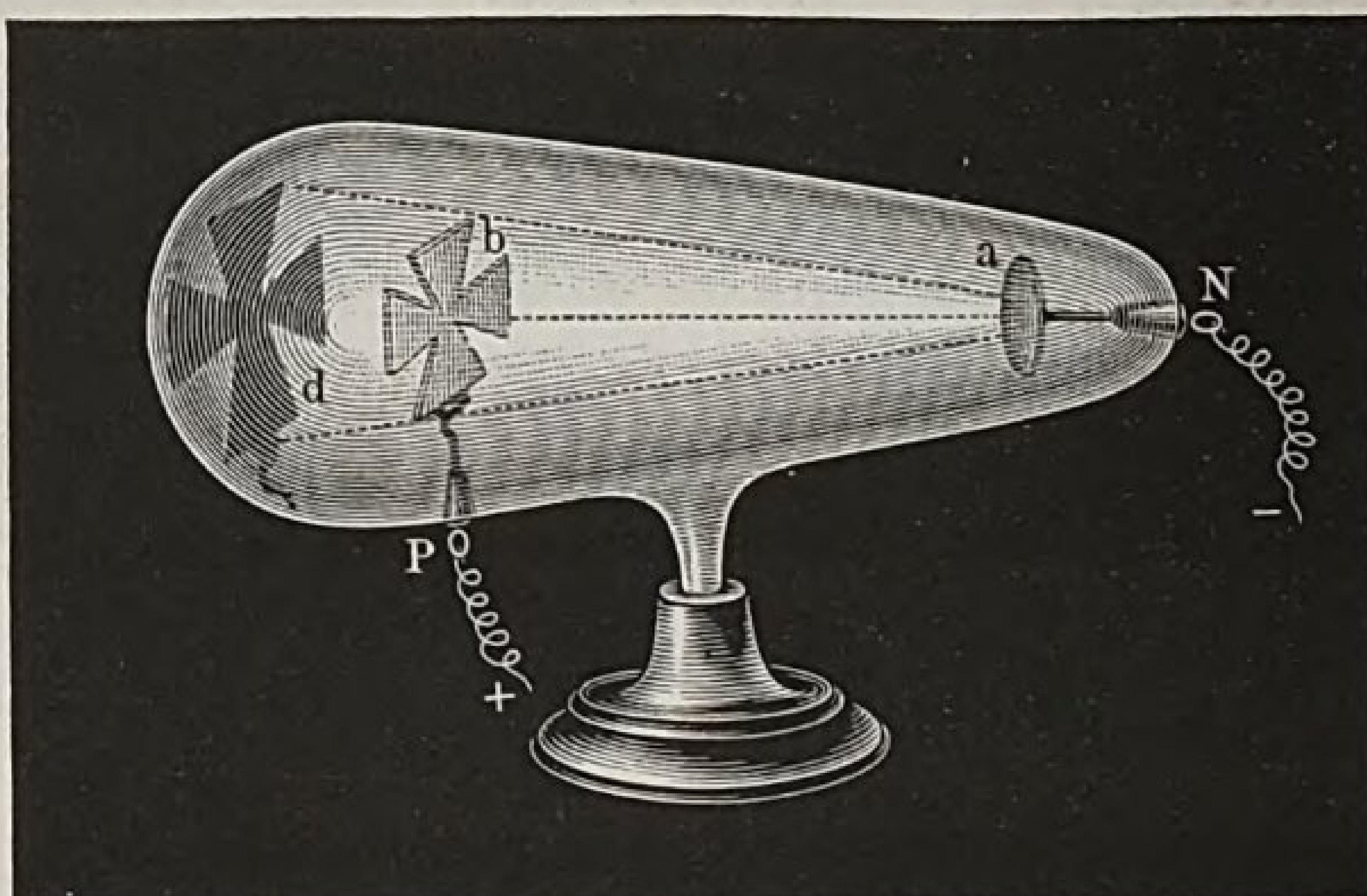
man aber die Verdünnung bis auf ein Milliontel (nach Crookes) getrieben, so stellt sich die in *B* abgebildete Erscheinung ein. Wird näm-

Fig. 598.



lich wieder die Elektrode a' mit dem negativen Pole verbunden, so kann man den positiven Pol an b, c oder d ansetzen, es zeigt sich stets dasselbe, die Strahlen des Glimmlichtes gehen von der schalenförmigen Elektrode senkrecht aus, kreuzen sich in einem Focus und treffen die gegenüberstehende Glaswand, wo sie Fluorescenzlicht hervorrufen. Fig. 599 zeigt einen Apparat zur Demonstration des Schattens des Glimmlichtes. a ist wiederum die negative Elektrode, als positive dient ein

Fig. 599.

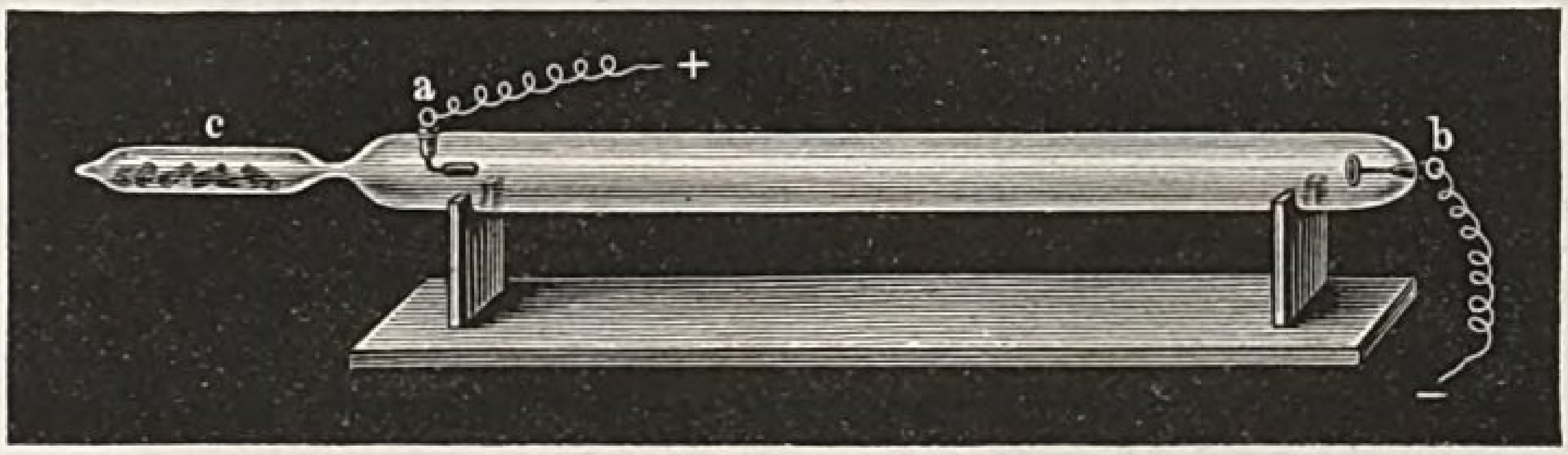


aus Aluminiumblech ausgeschnittenes Kreuz, welches mittelst Scharnier so befestigt ist, dass es sich aufstellen und umwerfen lässt. Das Glimmlicht geht geradlinig aus, trifft die Glaswände an allen Stellen mit Ausnahme der durch das Metallkreuz gedeckten. Es entsteht daher ein dunkles Kreuz als Schatten umgeben von Fluorescenzlicht. Wirft man dann das Kreuz um, so zeigt sich auf kurze Zeit eine neue höchst sonderbare Erscheinung. Der vorhin schattige Theil leuchtet nun heller als die Umgebung, so dass ein helles Kreuz auf weniger hellem Grunde sichtbar wird. Das fluorescirende Glas verhält sich also gewissermaassen wie die Retina des Auges, welche in Folge von Ermüdung zu Contrastbildern Anlass giebt.

Um die Wirkung einer allmäligen Zunahme oder Abnahme des Verdünnungsgrades zu demonstriren, hat Crookes den Apparat Fig. 600 construirt. Er besteht aus einer Glasröhre, in welche bei a und b Elektroden eingeschmolzen sind. c ist ein Ansatz, welcher einige Stücke kaustisches Kali enthält. Durch anhaltendes Evacuiren, während das Kali erhitzt wurde, hat man einen möglichst luftleeren Raum hergestellt. Die letzte Spur Wasserdampf wird dann beim Erkalten des geschmolzenen Kalihydrats von diesem absorbirt. Die so weit entleerte Röhre lässt nun den Inductionsfunken gar nicht mehr hindurch. Erwärmt man dann wiederum das Kalihydrat, so wird eine Spur absorbirten Wasserdampfes frei und sofort beginnt die Leitung der Elektricität und in Folge dessen das Fluorescenzleuchten der Röhre. Ent-

wickelt man durch stärkeres Erwärmen etwas mehr Wasserdampf, so wird das Fluorescenzlicht schwächer und plötzlich eilt eine Welle wol-

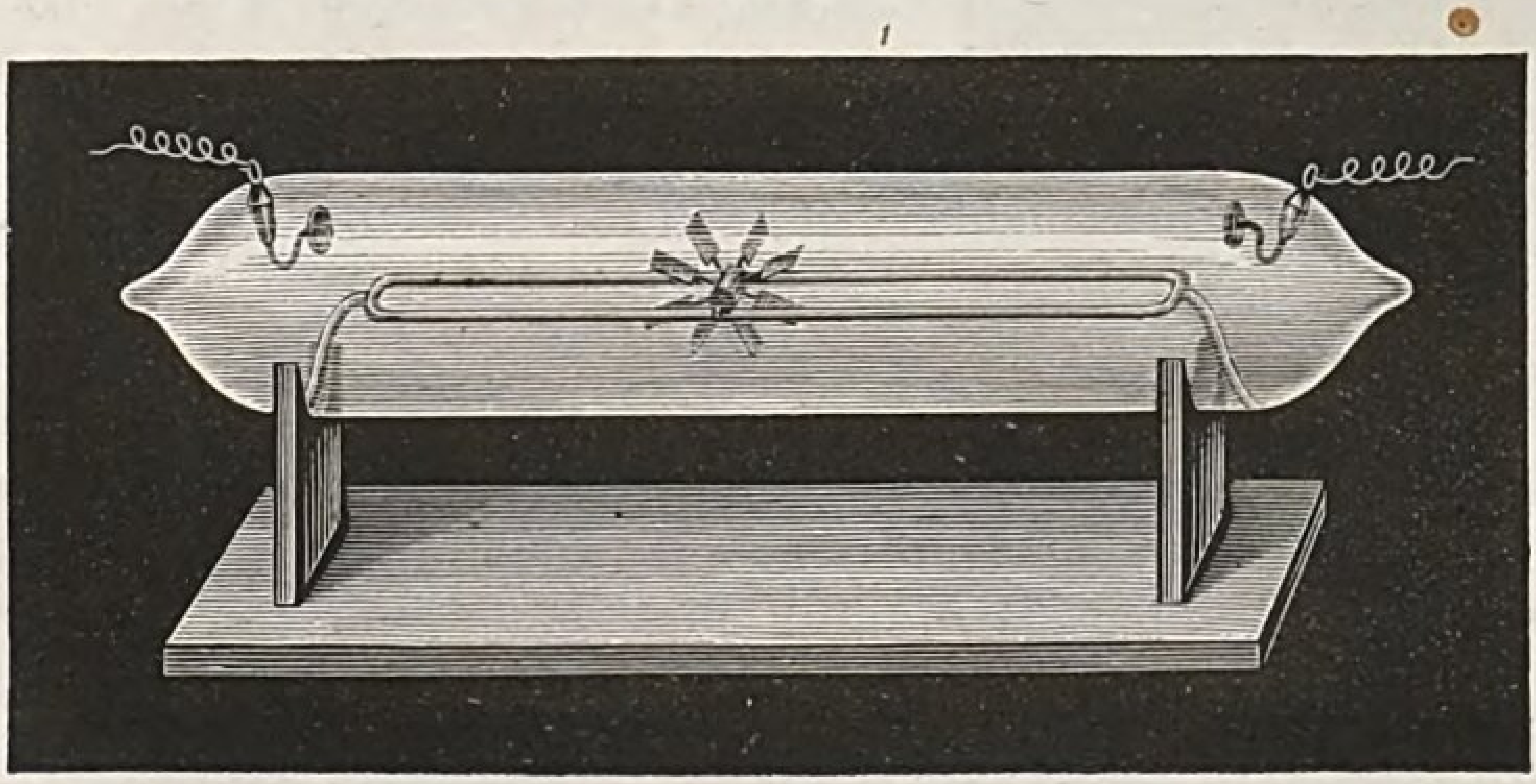
Fig. 600.



kigen Lichtes durch die Röhre, es erscheinen die charakteristischen Schichtungen, welche rasch dichter werden, bis der Funke längs der Röhre in Gestalt einer schmalen Purpurlinie hinläuft. Lässt man nun das Aetzkali wieder erkalten und den Wasserdampf absorbiren, so verbreitert sich die Purpurlinie, löst sich dann in feine Schichtungen auf, welche sich erweitern und gegen die Kaliröhre hinziehen. Hierauf erscheint am anderen Ende eine Welle grünen Lichtes am Glase, welche die letzte blosse Schichtung wegfegt und gegen das Kali treibt, worauf die ganze Röhre in Fluorescenzlicht erglimmt.

Dass das ausstrahlende Glimmlicht der negativen Elektrode leichte Körper, auf die es auftrifft, in Bewegung zu setzen vermag, hat Crookes mittelst des Apparates Fig. 601 gezeigt. Auf der gläsernen Schienen-

Fig. 601.

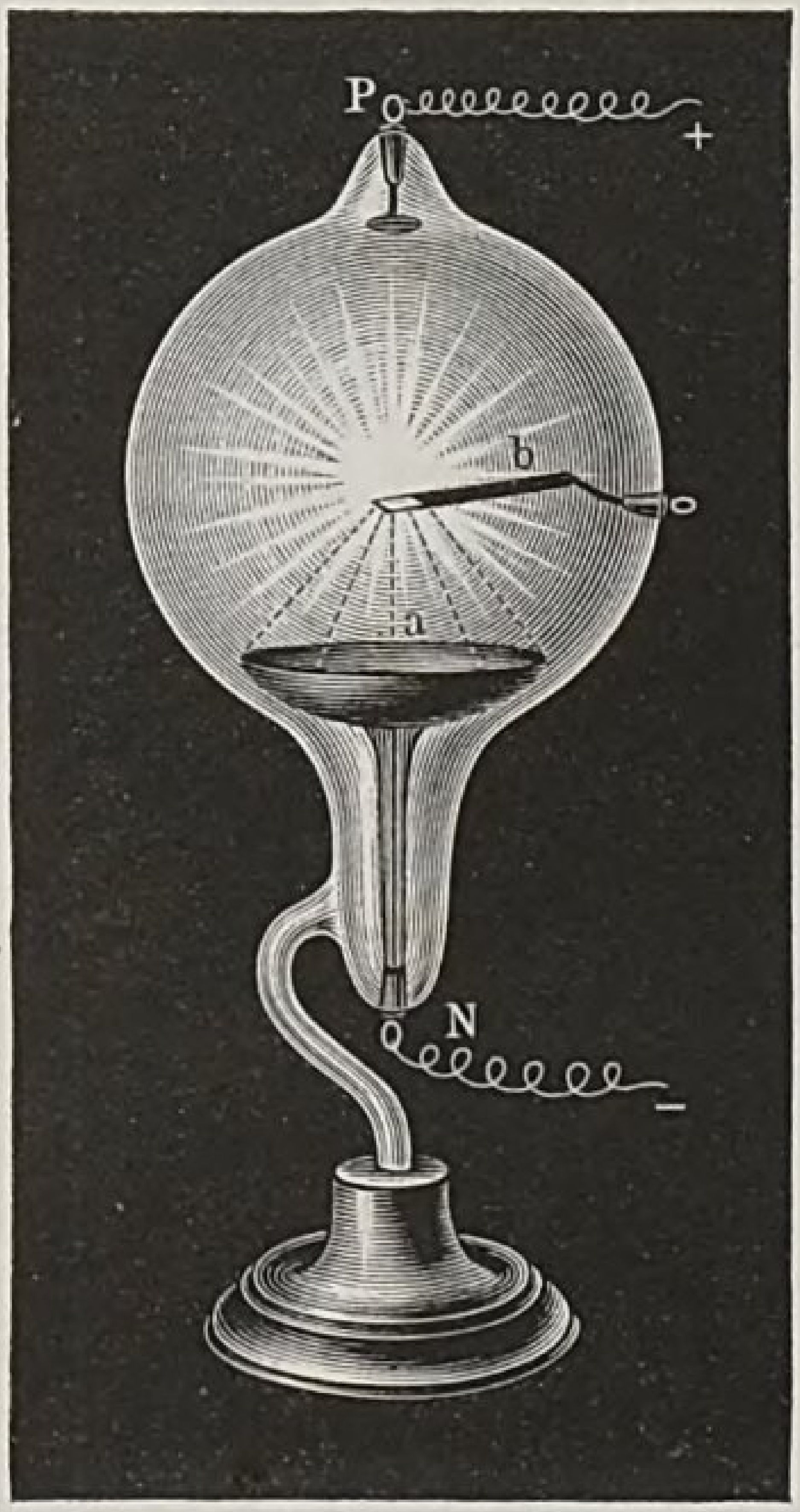


bahn rollt die Axe eines kleinen Rades, dessen Speichen Schaufeln aus Glimmer tragen. An den Enden der Röhre oberhalb der Mitte sind zwei Aluminiumelektroden eingeschmolzen. Sobald man dieselben mit den Polen des Inductionsapparates verbindet, wirkt die Entladung auf die obere Hälfte des Rades und setzt dasselbe gegen die positive Elektrode in Bewegung.

Endlich hat Crookes mittelst des Apparates Fig. 602 nachgewiesen, dass dort, wo die Strahlen des Glimmlichtes auffallen, Wärme ent-

steht. Vereinigt man viele solche Strahlen in einem Focus, so kann man daselbst Iridiumplatin zur Weissgluth erhitzen, ja sogar zum Schmelzen bringen.

Fig. 602.



a ist die negative Elektrode in Form eines Hohlspiegels, *P* die positive Elektrode, *b* ein Streifen Platinblech, welches zur Weissgluth erhitzt wird, wenn man einen hinreichend starken Inductionsapparat anwendet.

Hittorf's und Crookes' Beobachtungen und des letzteren Hypothese über die Existenz „strahlender Materie" haben eine Reihe neuerer Untersuchungen von Seiten anderer Physiker (Reitlinger, E. Goldstein, Gintl, J. Puluj, Voller, Zoch u. A.) veranlasst. Da der Gegenstand noch keineswegs abgeschlossen ist, so beschränken wir uns darauf, unsere Meinung dahin zu äussern, dass Gintl's und Puluj's Erklärungsversuch am annehmbarsten erscheint. Derselbe nimmt an, dass von der Oberfläche der Substanz der negativen Elektrode Theilchen abgestossen werden, die sich in geradliniger Richtung mit enormer Geschwindigkeit von der Elektrode weg begeben und ihre Geschwindigkeit beibehalten, bis sie anstossen. Die Elektricitätsleitung geschieht dabei nicht in Form eines elektrischen Stromes, sondern durch die mechanische Fortführung mittelst der negativ elektrisirten Körpertheilchen. Für diese Erklärung spricht unter Anderen auch der Umstand, dass die als negative Elektrode angewendeten Metalle angegriffen und an den gegenüberliegenden Stellen des Glases in Form von Spiegeln abgelagert werden. Aluminium widersteht dieser Wirkung am stärksten, wird aber auch angegriffen und aufgelockert. Die Fluorescenz- und Wärmewirkung der Strahlen des Glimmlichtes wäre dann die Wirkung der lebendigen Kraft des Stosses, welche dabei in eine andere Energieform übergeht.

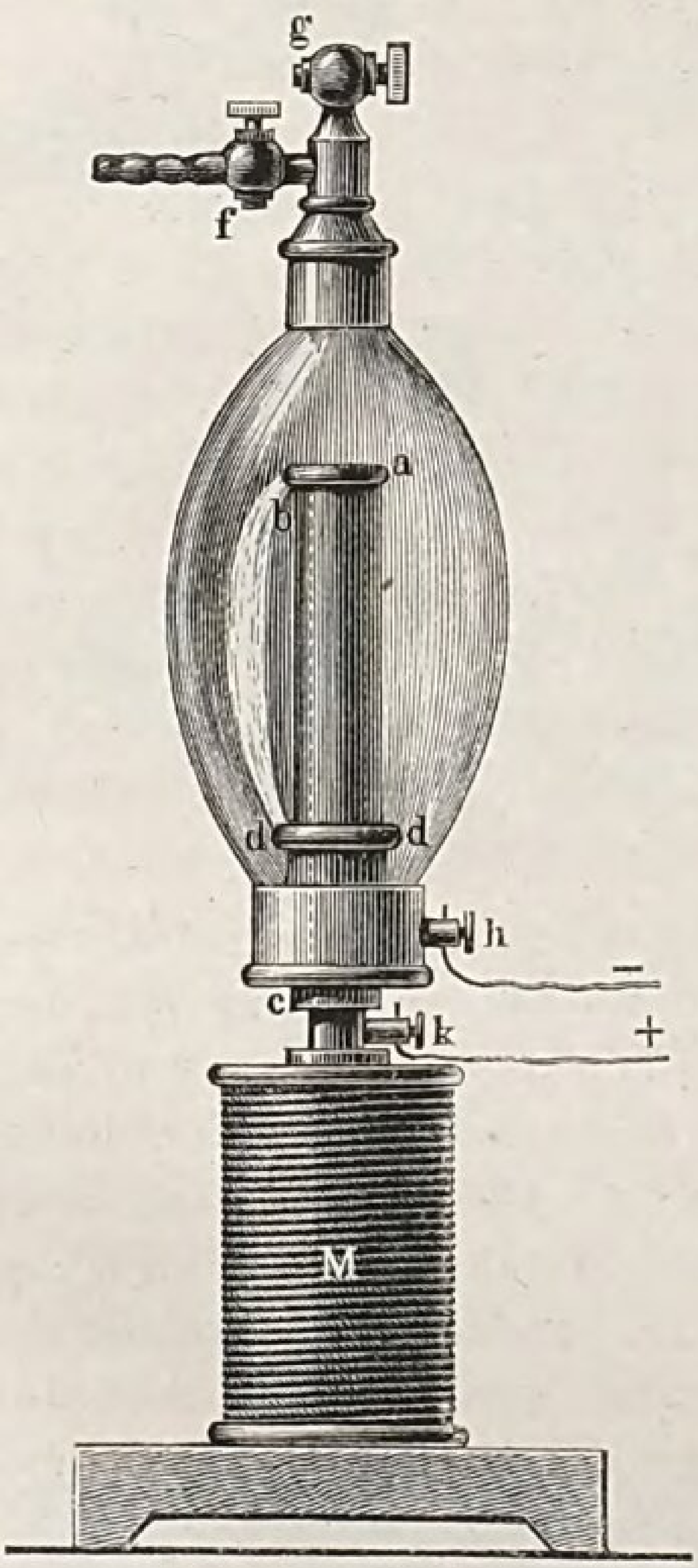
194 **Einwirkung des Magnets auf die elektrische Entladung in verdünnten Gasen.** Auf den gewöhnlichen Lichtstrom in den Geissler'schen Röhren wirkt der Magnetismus ganz nach denselben Gesetzen, wie auf bewegliche Stromleiter überhaupt. Wenn man z. B. eine Röhre von der Form Fig. 593 in äquatorialer Richtung (d. h. so, dass die Axe der Röhre rechtwinklig steht auf der durch die Verbindungslinie der beiden Pole des Elektromagnets gelegten Verticalebene)

mit ihrem ellipsoidisch erweiterten mittleren Theil zwischen die genäherten Halbanker des Elektromagnets bringt, so wird der Lichtstrom je nach seiner Richtung und der Polarität des Elektromagnets entweder nach oben oder nach unten abgelenkt, ähnlich wie es mit der in §. 191 besprochenen Lichthülle des Inductionsfunkens geschieht.

Unter entsprechenden Umständen rotirt der im verdünnten Raum übergehende Lichtstrom des Inductionsapparates eben so um einen Magnetpol, wie dies auch beim galvanischen Flammenbogen oder irgend einem anderen beweglichen Leiter der Fall ist.

Es lässt sich dies sehr schön mit dem von De la Rive angegebenen Apparat, Fig. 603, zeigen. Der Eisenkern des Elektromagnets *M* ist durch einen ungefähr 2 cm dicken, oben eine überragende Platte *a* tragenden Eisenstab verlängert, welcher in einer wohl isolirenden Glasröhre *bc* steckt. Der ganze obere Theil dieses von Glas umgebenen Eisenstabes befindet sich nun im Inneren eines elektrischen Eies, mit dessen unterer Messingfassung der die Glasröhre umfassende Messingwulst *dd* in leitender Verbindung steht. Die obere Fassung des elektrischen Eies ist mit zwei Hähnen versehen. Durch den Hahn *f* kann das elektrische Ei mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt werden, durch den Hahn *g*, dessen Einrichtung dem Hahn Fig. 115, S. 122 ähnlich ist, kann man einige Tropfen Alkohol oder Aether in das Innere des Eies bringen.

Fig. 603.



Wenn man, nachdem das Ei evacuirt ist, die auf dem Eisenkern sitzende Klemmschraube *k* mit der positiven, die auf der unteren Messingfassung befestigte Klemmschraube *h* mit der negativen Elektrode des Funkeninductors in leitende Verbindung setzt, so geht eine mehr oder weniger unregelmässige Lichtgarbe von der Platte *a* zum Messingring *dd* herab; sobald man aber den Elektromagnet in Thätigkeit setzt, concentrirt sich das Licht zu einem hellen Bande, welches um den nun magnetischen Eisenkern rotirt.

Die Richtung der Rotation folgt den bekannten Gesetzen; sie wird umgekehrt, wenn man entweder die Polarität des Elektromagnets oder die Stromrichtung des Inductionsapparates umkehrt.

Einen sehr bequemen Apparat zur Hervorbringung dieser Rotation, welcher ein- für allemal evacuirt ist, hat Geissler construirt. In ein ringsum verschlossenes Gefäss, Fig. 604, sind Platindrähte a und d luftdicht eingeschmolzen, von denen der untere einen im Inneren des evacuirten Gefässes befindlichen kreisförmig gebogenen Messingdraht m trägt, während an dem unteren Ende des Zuleitungsdrahtes a eine

Fig. 604.

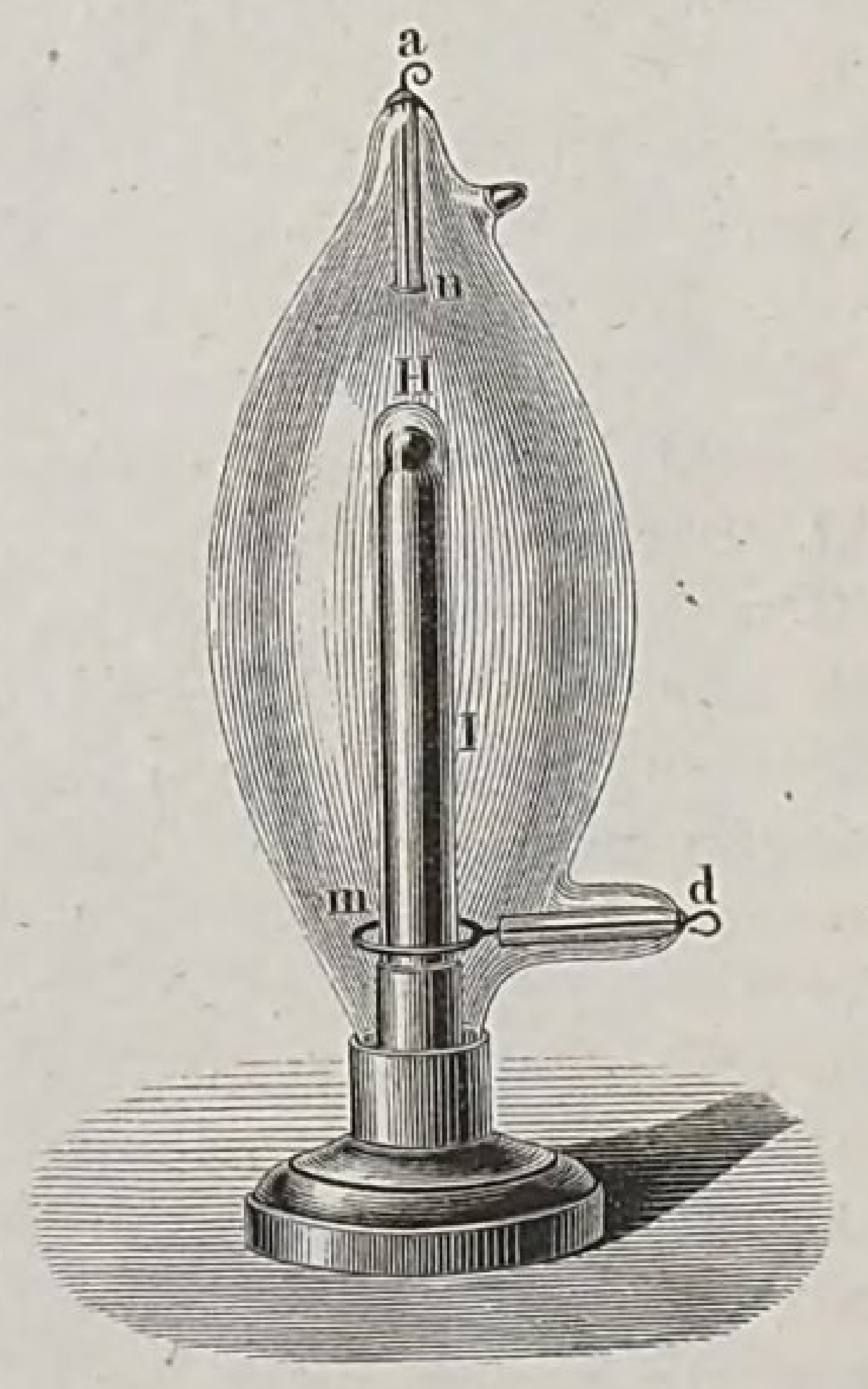


Fig. 605.

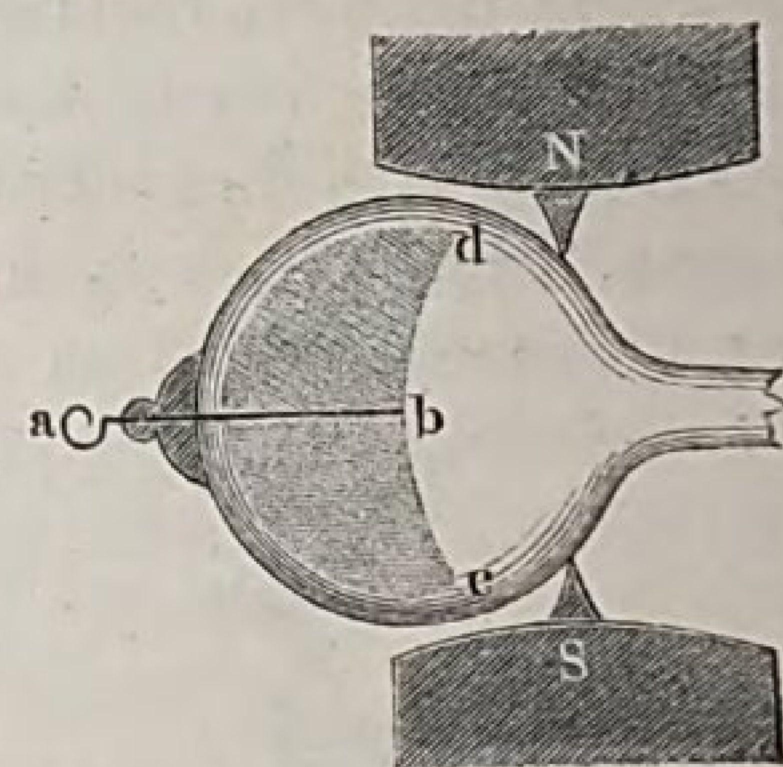
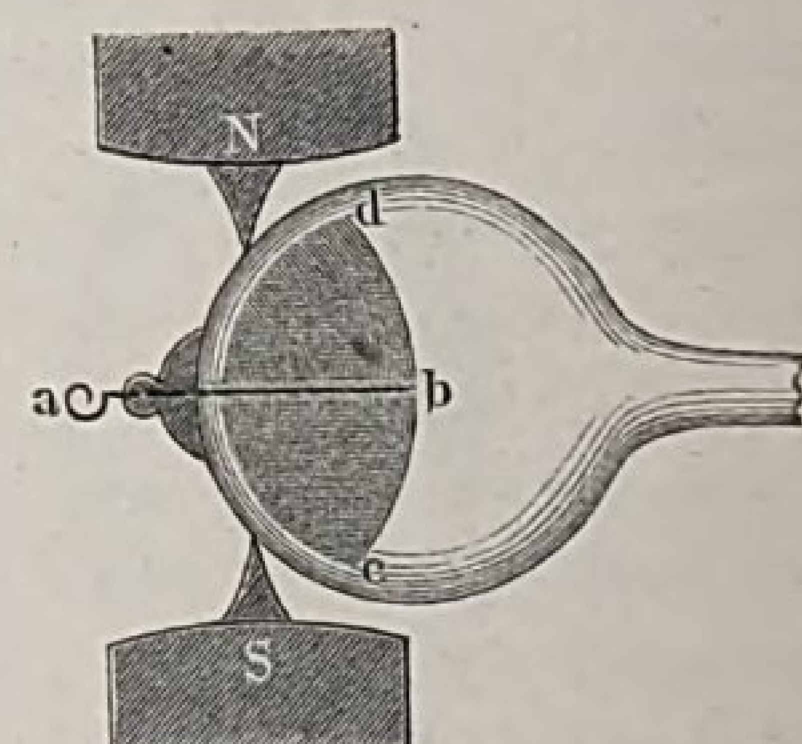


Fig. 606.



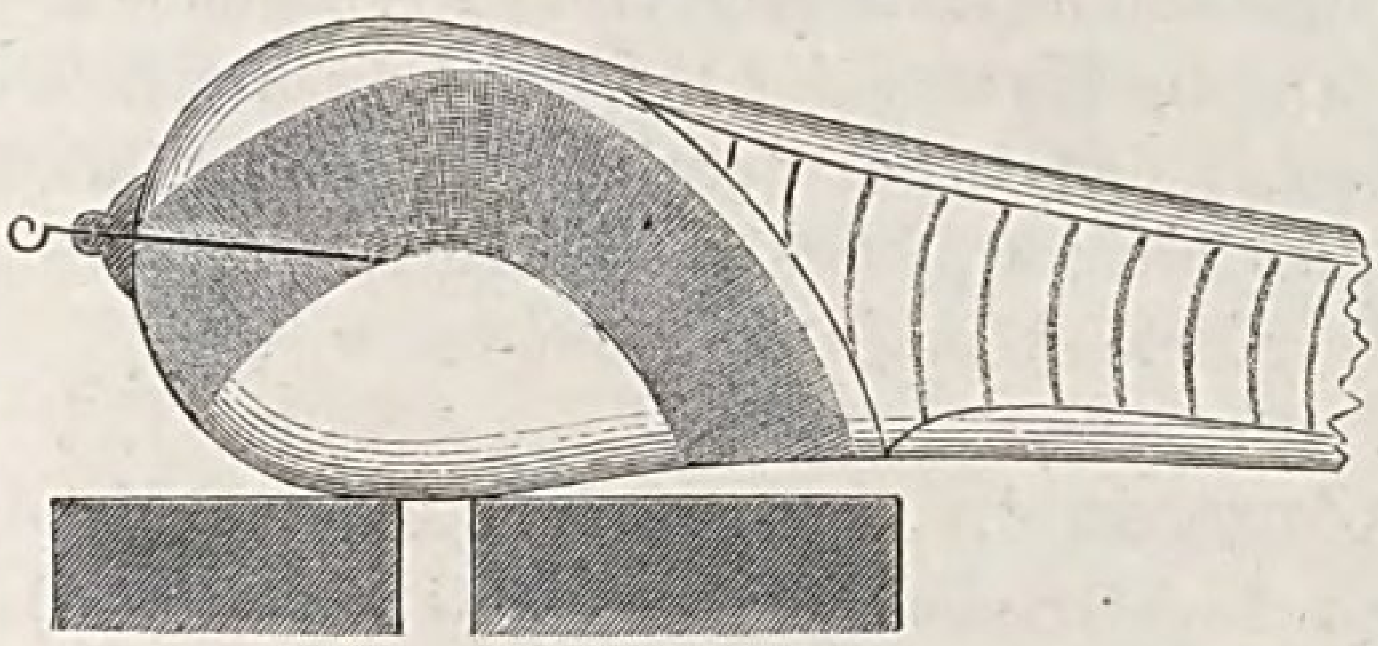
kleine Messingplatte befestigt ist. Der obere Zuleitungsdraht ist bis auf dieses Messingplättchen, der untere ist bis zum Ring m ganz mit einer isolirenden Glashülle umgeben. Von unten her ragt in den evacuirten Raum eine oben geschlossene Glasröhre H hinein, in welche ein Stab von weichem Eisen eingekittet ist. Dieser Eisenstab reicht bis zur unteren Fläche des Holzfusses hinab, welcher den ganzen Apparat trägt, er wird also zu einem Magnet, wenn der Apparat auf den Pol eines kräftigen Elektromagnets aufgesetzt wird. Man hat also nur die Drähte a und d mit den Drahtenden der Inductionsspirale zu verbinden, um die fragliche Rotationserscheinung zu beobachten.

Ganz anders verhält sich, wie schon Plücker gezeigt hat (Poggendorff's Annal. CIII.), das Glimmlicht der negativen Elektrode. Unter dem Einfluss eines kräftigen Elektromagnets wird dasselbe zu einer Fläche ausgebreitet, welche durch die Gesammtheit aller durch die einzelnen Punkte der negativen Elektrode und die beiden magnetischen Pole gehenden magnetischen Curven (§. 11) gebildet wird.

In Fig. 605 und Fig. 606 seien N und S die beiden Pole des Elektromagnets, zwischen welche eine Geissler'sche Röhre so gelegt wird,

dass die negative Elektrode *ab* in gleicher Höhe mit den Magnetpolen liegt. Es bildet dann das blaue Glimmlicht eine horizontale Fläche, welche in unseren Figuren durch Schraffirung angedeutet ist. Die durch den Endpunkt *b* der negativen Elektrode gelegte magnetische Curve *cbd* bildet die Gränzlinie der Lichtfläche.

Fig. 607.

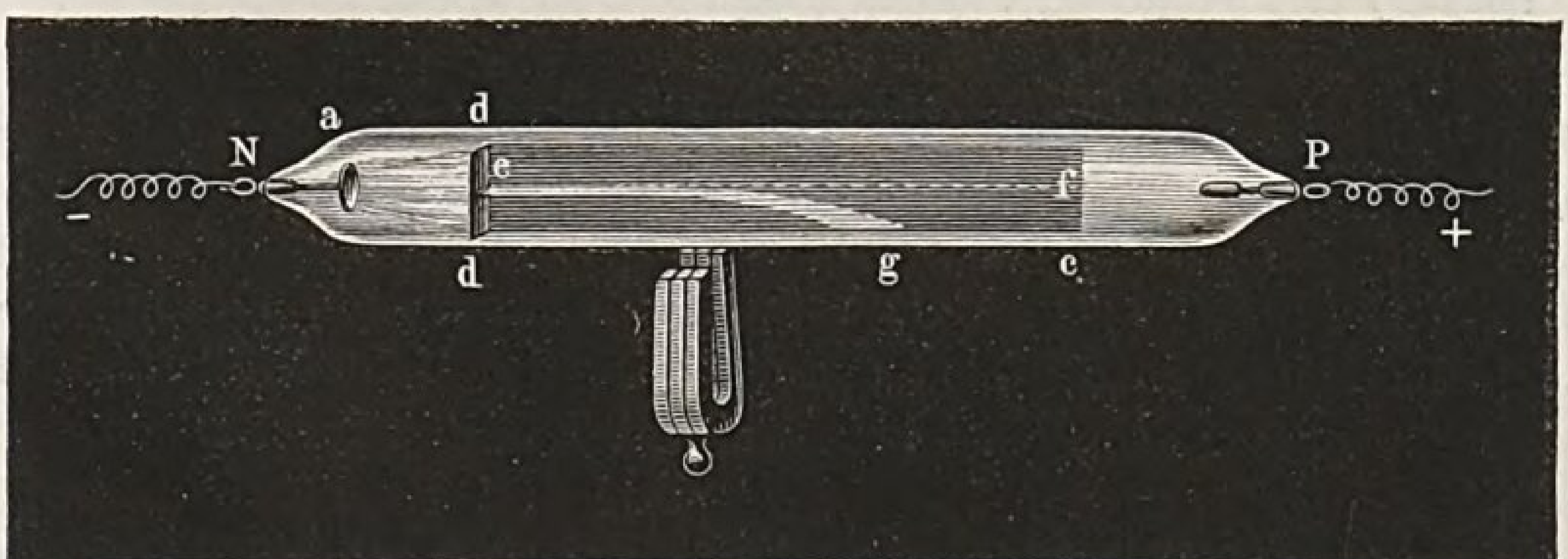


Wird die Geissler'sche Röhre in axialer Lage auf die Halbanker des Elektromagnets aufgelegt, so nimmt die Fläche, in welcher das blaue Licht ausgebreitet wird, die in Fig. 607 angedeutete Gestalt an.

Viel eingehender wurde die Einwirkung des Magneten auf das Glimmlicht von Hittorf und später von Crookes studirt. Das Hauptresultat ist nach Hittorf folgendes: Ein Strahl Glimmlicht verhält sich dem Magnet gegenüber wie ein dünner geradliniger, gewichtsloser, steifer Stromfaden, der bloss an dem Ende, welches der negativen Elektrode anliegt, fest bleibt. Mit seinem anderen Ende und der ganzen biegsamen Länge folgt er den Kräften, welche zwischen seinen Theilchen und dem Magnete bestehen, ohne Rücksicht darauf, welche Lage er in Bezug auf die positive Elektrode gewinnt, er sich dabei von ihr entfernt oder ihr nähert. Das positive Licht dagegen unterhält die Verbindung zwischen dem Glimmlicht und der positiven Elektrode; es erscheint daher als ein auf der ganzen Länge biegsamer Leiter, dessen Enden beide fest sind und kann nur so weit den magnetischen Kräften folgen, als es diese Bedingung gestattet.

So lange die Verdünnung nicht sehr gross ist, erfüllt das positive Licht fast die ganze Länge zwischen den Elektroden. Durch den Magnet erfährt dasselbe nur dort eine Ausbiegung, wo derselbe genähert wird. Bei sehr grosser Verdünnung erfüllt das negative Glimmlicht die Röhre und dieses verhält sich anders. Crookes zeigte dies mittelst des Apparates Fig. 608. Durch ein Diaphragma aus Glimmer *dd* mit einer Oeff-

Fig. 608.



nung e wird das von der negativen Elektrode ausgehende Glimmlicht auf ein schmales Strahlenbündel cf begränzt, dessen Verlauf dadurch sichtbar gemacht wird, dass man es längs des Schirmes ddf aus einer fluorescirenden Substanz streifend auffallen lässt. Durch einen kräftigen Magnet erfolgt dann die Ablenkung wie die Figur zeigt. Crookes hat in ähnlicher Weise auch nachgewiesen, dass zwei parallele Glimmlichtbündel sich gegenseitig abstossen, also nicht wie zwei gleichgerichtete Ströme, sondern wie gleichnamig elektrisirte Körper auf einander wirken.

195 **Alternirende Entladungen in Geissler'schen Röhren.** Alle bis jetzt besprochenen Lichterscheinungen in Geissler'schen Röhren rühren von einfach gerichteten Strömen her, weil nur der Oeffnungsschlag Intensität genug besitzt, eine Entladung durch die Röhre hindurch zu bewirken. Unter Umständen können aber auch abwechselnd gerichtete Ströme (auch alternirende oder recurrente Ströme genannt) in den Geissler'schen Röhren auftreten, so z. B., wenn man zwischen der Inductionsspirale und dem Geissler'schen Rohr eine Leydener Flasche in der Art einschaltet, dass man von dem einen Pol der Inductionsspirale einen Draht zur inneren und von der einen Elektrode der Röhre einen solchen zur äusseren Belegung der Flasche führt. Bei jedem Oeffnungsschlag wird die Flasche geladen und die abgestossene Elektricität der äusseren Belegung gleicht sich durch die Röhre mit der Elektricität des anderen Poldrahts aus. Bevor nun aber die Wiederschliessung des Hauptstromes erfolgt, entladet sich die Flasche wieder durch den Inductionsdraht und die Röhre hindurch, so dass letztere nun in einer dem Ladungsstrom entgegengesetzten Richtung durchströmt wird.

Dass hier in der That die Röhre von abwechselnd gerichteten Strömen durchflossen wird, ergiebt sich zunächst daraus, dass nun an beiden Elektroden das negative Glimmlicht auftritt, dann aber auch besonders deutlich dadurch, dass man den rothen Lichtstrom in den Röhren der Einwirkung eines kräftigen Elektromagnets aussetzt, denn der aus rasch auf einander folgenden, entgegengesetzt gerichteten Strömen zusammengesetzte rothe Lichtstreif wird dadurch in zwei getrennte Lichtstreifen zerlegt, welche durch den Einfluss des Magnets in verschiedener Weise abgelenkt werden.

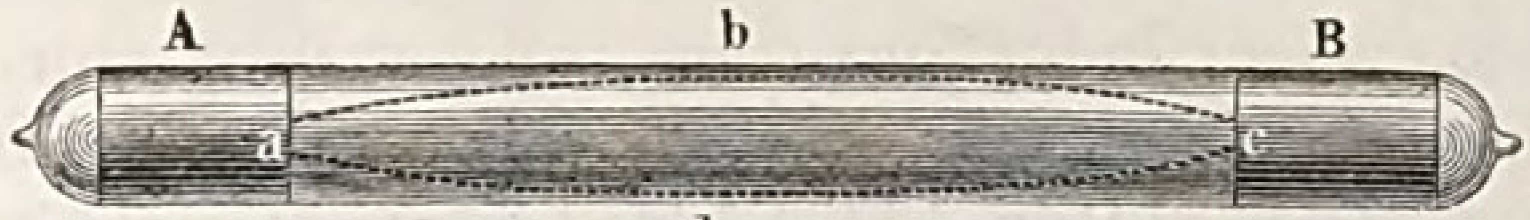
Dieses Prüfungsmittel wandte nun Paalzow zur Untersuchung des Entladungsschlages der Leydener Batterie an (Poggend. Annal. CXII.). Als er in den Schliessungsbogen einer einzelnen Flasche oder einer ganzen Batterie, welche durch die Elektrisirmaschine geladen wurde, eine Geissler'sche Röhre einschaltete, zeigte sich, als derselbe der Einwirkung eines Elektromagnets ausgesetzt wurde, dass die durch dieselbe hindurchgehende Entladung in der That aus alternirend gerichteten Strömen bestand, wenn ausser der Röhre kein weiterer bedeutender Widerstand in den Schliessungsbogen der Flasche eingeschaltet war; durch die Einschaltung eines hinlänglich starken Widerstandes aber wurde die Ent-

ladung eine einfach gerichtete. Dadurch ist nun auch die Richtigkeit der Resultate bestätigt, welche Feddersen aus den in §. 65 besprochenen Versuchen mit dem rotirenden Spiegel gezogen hat.

Gassiot versah eine evacuirte Glasröhre, in welche keine Platinelektroden eingeschmolzen waren, an jedem Ende mit einer Stanniolbelegung, wie es in Fig. 609 angedeutet ist.

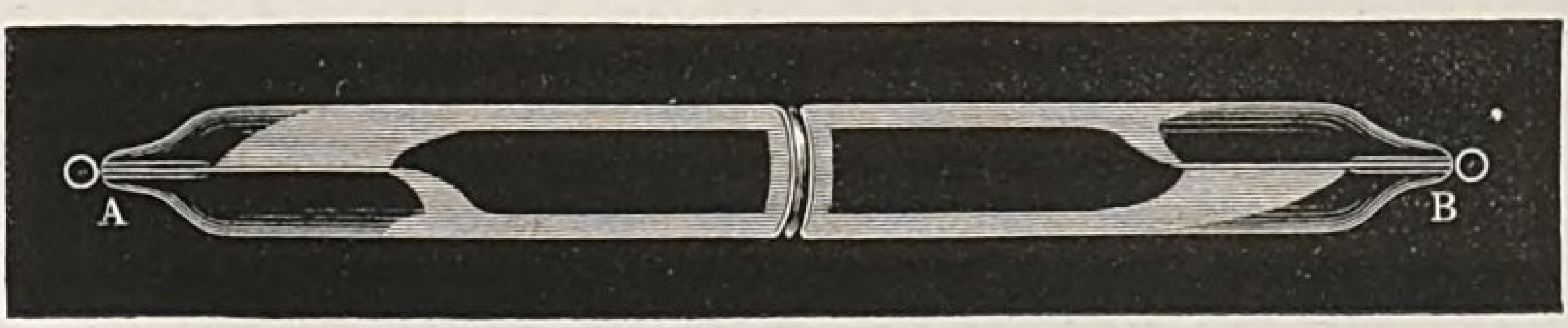
Als jede dieser Belegungen mit einem der Pole des Funkeninductors verbunden und dieser in Thätigkeit gesetzt wurde, bildete sich ein Lichtstrom im Inneren der Röhre, welcher durch die Einwirkung des Elektromagnets in zwei zerlegt wurde. Als sich die Röhre in der bereits in §. 194 besprochenen Weise in äquatorialer Richtung zwischen den Polen des Elektromagnets befand, wurde der eine Strom nach oben gekrümmt, wie *a b c*, der andere aber nach unten, also nach der Richtung *a d c* abgelenkt. Die Entstehung alternirender Ströme in der Röhre erklärt sich folgenderweise: In dem Augenblick, in welchem die eine Belegung, etwa *A*, durch den Oeffnungsstrom des Inductors mit positiver Elektricität geladen wird, wird die positive Elektricität im Inneren der Röhre von *A* nach *B* strömen; wenn aber gleich darauf die Belegung *A* durch den Schliessungsstrom des Inductors mit negativer Elektricität geladen wird, so muss ein positiver Strom im Inneren der Röhre von *B* nach *A* laufen.

Fig. 609.



Recurrirende Ströme treten auch in Geissler'schen Röhren auf, welche in der Mitte durch eine dünne Scheidewand von Glas getheilt sind. In äquatorialer Lage zwischen die Pole des Elektromagnets gebracht, zeigt ein solches Rohr in beiden Hälften einen doppelten Lichtstreifen, indem der Lichtstrom z. B. von der einen Elektrode *A*, Fig. 610, sich nach unten senkt, bis zur Scheidewand fortgeht, wo er sich nach oben

Fig. 610.



wendet, um auf der oberen Seite des Rohres nach *A* zurückzukehren. In der anderen Hälfte des Rohres nimmt der Strom die entgegengesetzte Richtung. Beide Pole zeigen das negative Glimmlicht.

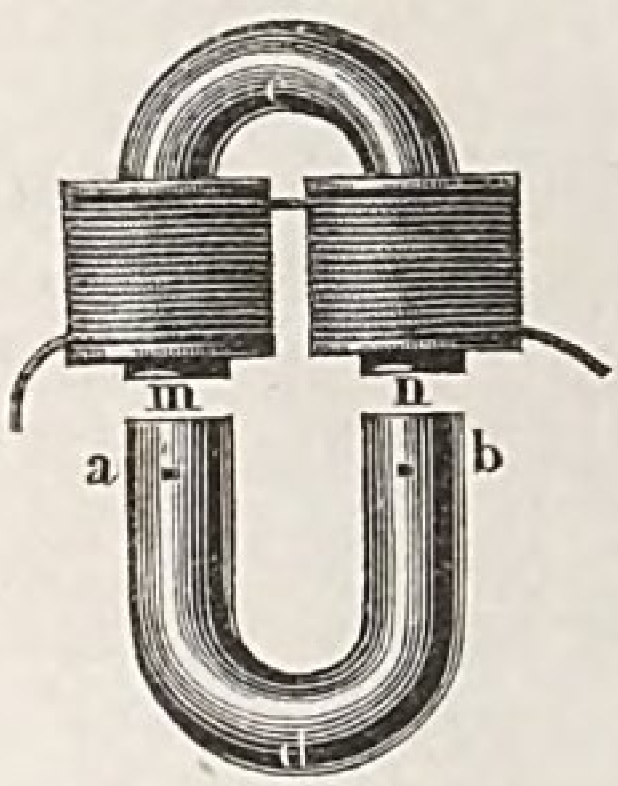
Magnetoelektrische Inductionsapparate, Umkehrung der elektromagnetischen Motoren. 196 Nach dem Gesetze von Lenz (§. 187) erzeugt jede relative Bewegung zwischen Magnetpol und Stromleiter in letzterem einen Inductionsstrom von solcher Richtung, dass durch

diesen Strom der ursprünglichen Bewegung entgegengewirkt wird. Daraus folgt, dass man jeden mit einem dauernden Magnete ausgerüsteten elektromagnetischen Motor umgekehrt als Inductionsapparat verwenden kann, indem man ihn unter Aufwand von Arbeit in Bewegung setzt. Um z. B. den Ritchie'schen Motor Fig. 449 S. 505 als Inductionsapparat zu benutzen, hätten wir nur nöthig, die Axe des Ankers mit einer Kurbel zu versehen und den Apparat in rasche Rotation zu versetzen. Bei + und — hätten wir dann die Poldrähte für die Inductionsströme anzubringen. Um deren Richtung zu untersuchen, denken wir uns, das Ende A des Ankers sei eben im Begriffe, sich von dem Nordpol N des Magnets nach rückwärts zu entfernen. Es entsteht dann in den Windungen um A ein Inductionsstrom, welcher in A einen Südpol erzeugt; denn ein solcher wirkt der Entfernung vom Nordpol N entgegen. Sobald sich das Ende A dann dem Südpol S von rückwärts nähert, entsteht wiederum ein solcher Inductionsstrom in den Windungen von A, dass in A ein Südpol entsteht, denn ein solcher wirkt der Annäherung an den Südpol S entgegen. Sobald nun oben das Ende A sich nach vorn vom Südpole S entfernt, entsteht in den Windungen um A ein Inductionsstrom, der in A einen Nordpol erzeugt und dasselbe ist der Fall, sobald sich das Ende A von vorne dem Nordpol N nähert. Wir erhalten also während einer Umdrehung vier Inductionsströme, von denen je zwei auf einander folgende innerhalb der Umwickelung des Ankers gleiche Richtung haben, worauf wieder zwei mit den vorigen entgegengesetzt gerichtete folgen. Der Wechsel in der Richtung erfolgt in dem Moment, wo die Enden des Ankers den Polen am nächsten stehen. In diesem selben Momente bewirkt aber auch der Commutator ih die Umkehrung, weshalb ein die Polklemmen + und — verbindender Draht stets im selben Sinne von den vier Inductionsströmen durchflossen wird. Dass in den das Ende B umgebenden Windungen, falls dieselben richtig, nämlich mit derselben Spiralenrichtung gewickelt sind, ein im selben Sinne gerichteter Inductionsstrom entsteht, wie in den Windungen um A, ist leicht einzusehen. Die Zeichen + und —, welche die Eintrittsstellen desjenigen positiven (und negativen) Stromes angeben, welcher den Apparat im Sinne des Pfeils in Rotation setzt, bedeuten zugleich auch die Austrittsstellen der Inductionsströme, welche entstehen, wenn der Apparat im selben Sinne gedreht wird. Sollen daher diese Inductionsströme ausserhalb des Apparates dieselbe Richtung haben, wie derjenige, der eine Rotation in der Pfeilrichtung hervorruft, so muss man die entgegengesetzte Rotation einleiten.

Der beschriebene Apparat ist bedeutender Verbesserung fähig. Vor allem ist es zweckmässiger, dem Anker eine andere Form und Drahtwickelung zu geben, welche den in ihm entstehenden Magnetismus besser auszunutzen gestattet. Fig. 611 giebt hierüber eine Andeutung. Der Anker hat die Form eines Hufeisens und ist wie ein Hufeisenelektromagnet mit Drahtspulen nahe seinen Enden bekleidet. Eine derartige

Vorrichtung kann auch recht gut dazu dienen, das oben Abgeleitete zu demonstriren. Verbindet man die Enden der Leitung mit einem Galvanometer, so erhält man beim Abreissen und beim Anlegen des Ankers an den Stahlmagnet ab die entsprechenden Inductionsströme. Verbindet man das eine Ende der Windungen leitend mit dem Anker, das andere mit dem Stahlmagnet, so erhält man beim Abreissen an der Unterbrechungsstelle einen Inductionsfunken (Faraday's Funkenmagnet).

Fig. 611.



Nun wollen wir ein paar Apparate kennen lernen, welche nach den abgeleiteten Principien construirt sind und welche man „Magnetinductoren", „magnetoelektrische Inductionsapparate" (auch magnetoelektrische Rotationsapparate oder Magnet-Elektrisirmaschinen) nennt.

Die erste Maschine der Art construirte Pixii im Jahre 1832; bei dieser rotirte der Magnet und nicht das weiche Eisen mit den Inductionsspiralen. Später erfuhr dieser Apparat bedeutende Veränderungen und Verbesserungen, namentlich durch Saxton, Clarke, Ettingshausen, Petrina und Stöhrer. Bei allen den später construirten Maschinen sind die Magnete fest und die Inductionsspiralen beweglich. Fig. 612 (a. f. S.) stellt eine Stöhrer'sche Magneto-Inductionsmaschine von mittlerer Grösse dar.

Der aus mehreren Lamellen zusammengesetzte Hufeisenmagnet liegt wagerecht. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben ist die Rotationsaxe angebracht, um welche sich die Inductionsspiralen drehen. Die Umdrehung dieser Axe wird durch einen Schnurlauf bewirkt, welcher von einer grösseren oberhalb befindlichen Drehscheibe über eine kleinere auf der Axe sitzende Rolle geht.

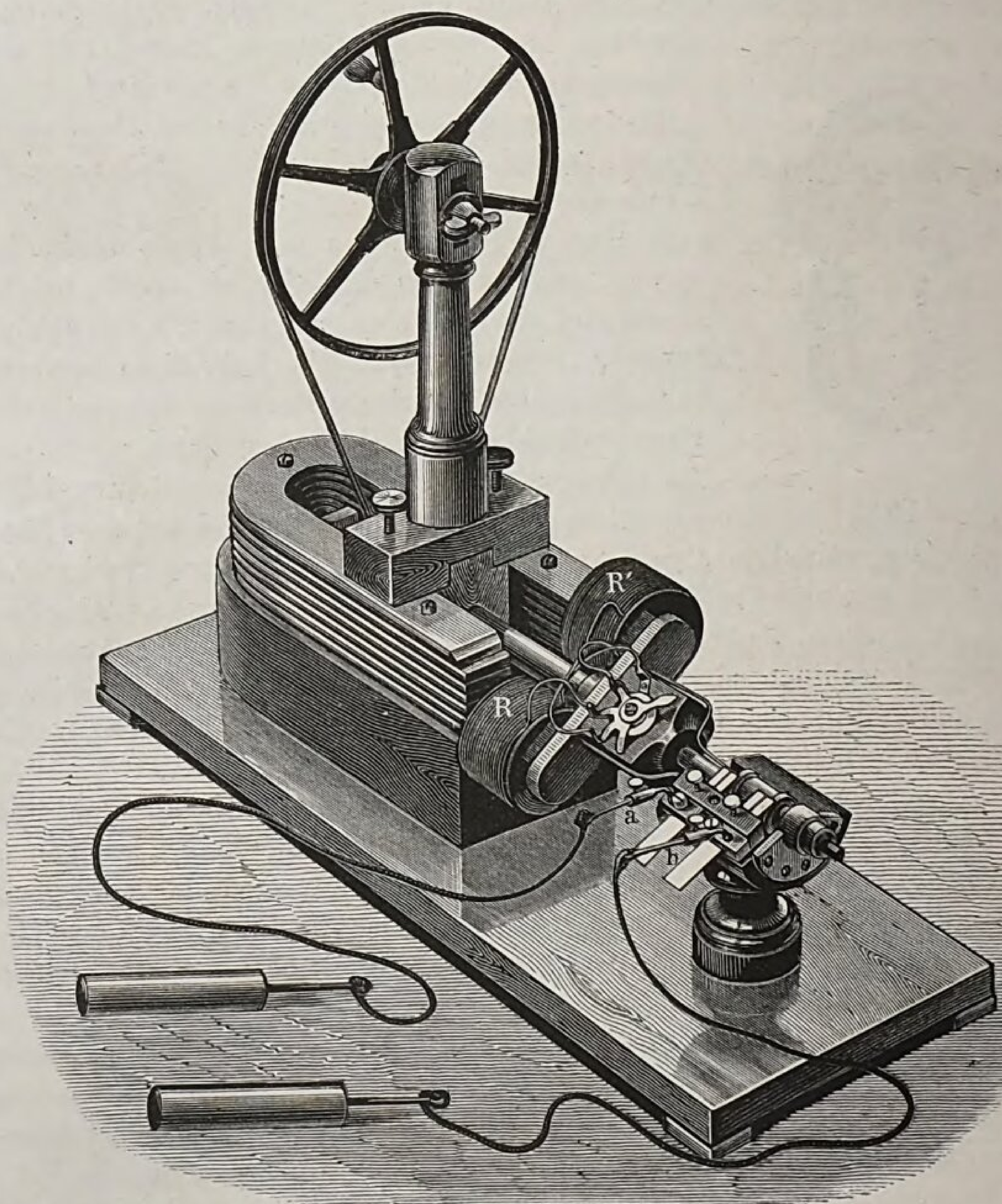
Die beiden Enden dieser eisernen Umdrehungsaxe laufen in Spitzen. Auf der vorderen Hälfte derselben ist eine eiserne Platte befestigt, welche gegen die Magnetpole gekehrt, zwei Cylinder von weichem Eisen trägt, auf denen die Inductionsspiralen R und R' aufgesteckt sind.

Es kommt nun darauf an, während der Rotation der Spiralen zwischen den freien Drahtenden derselben stets denjenigen Körper einzuschalten, durch welchen man die Inductionsströme hindurchsenden will und überdies den Inductionsströmen gleiche Richtung zu geben; dies wird nun durch eine Vorrichtung vermittelt, welche man den Commutator nennt und welche an dem vorderen Theile der Rotationsaxe befestigt ist. Der Stöhrer'sche Commutator ist in Fig. 614 (a. S. 675) im Durchschnitt, Fig. 615 (a. S. 675) in perspectivischer Ansicht dargestellt; Fig. 613 (a. S. 675) zeigt, wie er auf der Axe befestigt ist und wie von ihm aus der Strom in den einzuschaltenden Körper geleitet wird.

An den beiden Enden des Messingrohres m sind zwei Stahlkämme 2 und 3 so aufgelöthet, dass sie sich genau gegenüber liegen und die En-

den derselben sich etwas überragen. Innerhalb des Rohres m, von demselben durch ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt, befindet sich ein zwei-

Fig. 612.



tes Messingrohr n, welches an beiden Seiten über m vorragt. Die Vorsprünge tragen zwei mit dem Rohre n aus einem Stück gedrehte Ringe o von gleichem Durchmesser mit der Höhlung des Rohres m; auf diese Ringe sind die Stahlkämme 1 und 4 den Stahlkämmen 3 und 2 correspondirend aufgelöthet, wie man dies am deutlichsten in Fig. 615 sieht.

Dieses ganze System ist auf der Umdrehungsaxe befestigt.

Das eine Drahtende k, Fig. 613, der Spiralen führt zum Kamm 2, das andere Drahtende h führt zum Kamm 1.

Zwei flache dünne Stahlfedern sind an dem Gestelle der Maschine so angebracht, dass ihre vorderen geschlitzten Enden von oben auf die Stahl-

kämme drücken; sie können nach Belieben mittelst einer Schraube mehr oder weniger gespannt werden.

Der leichteren Uebersicht wegen sind in Fig. 616 die beiden Federn etwas von der Walze abgerückt gezeichnet. Die Feder *S* theilt

Fig. 613.

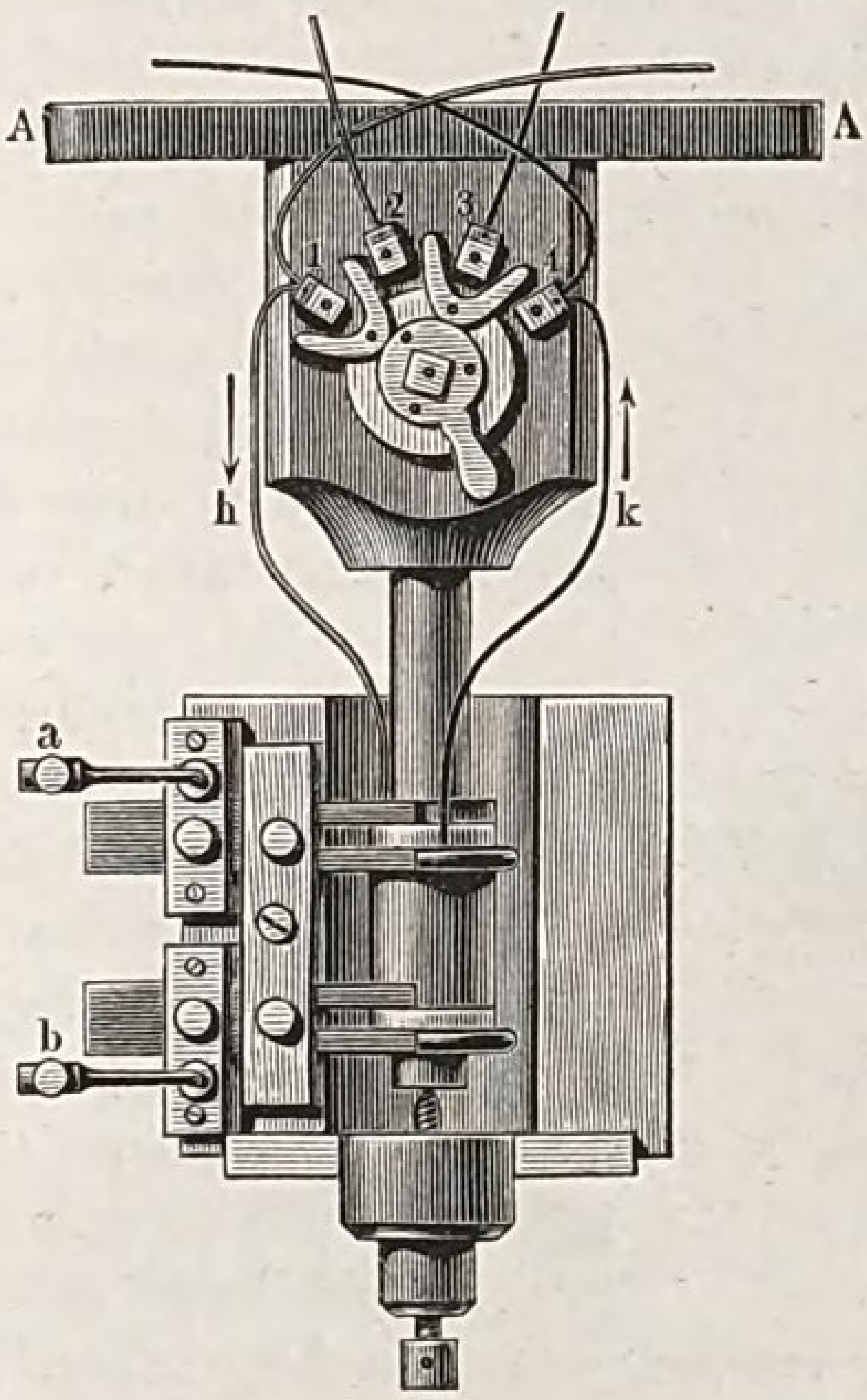


Fig. 614.

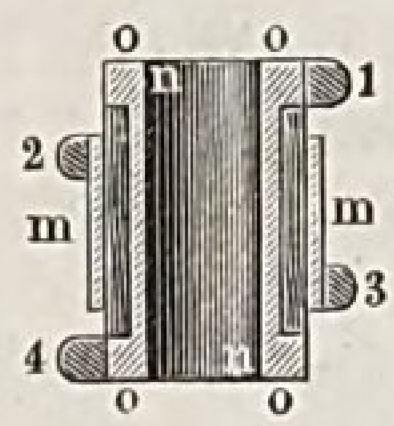


Fig. 615.

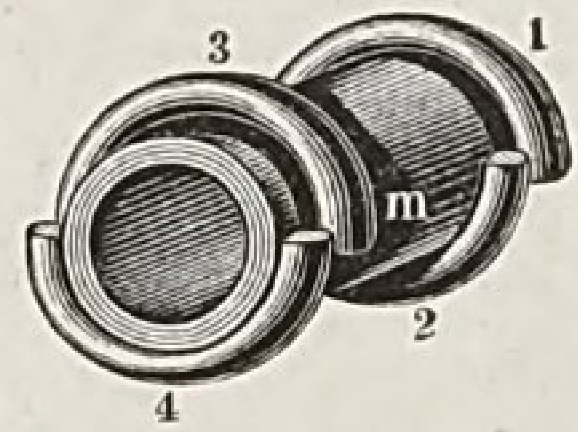
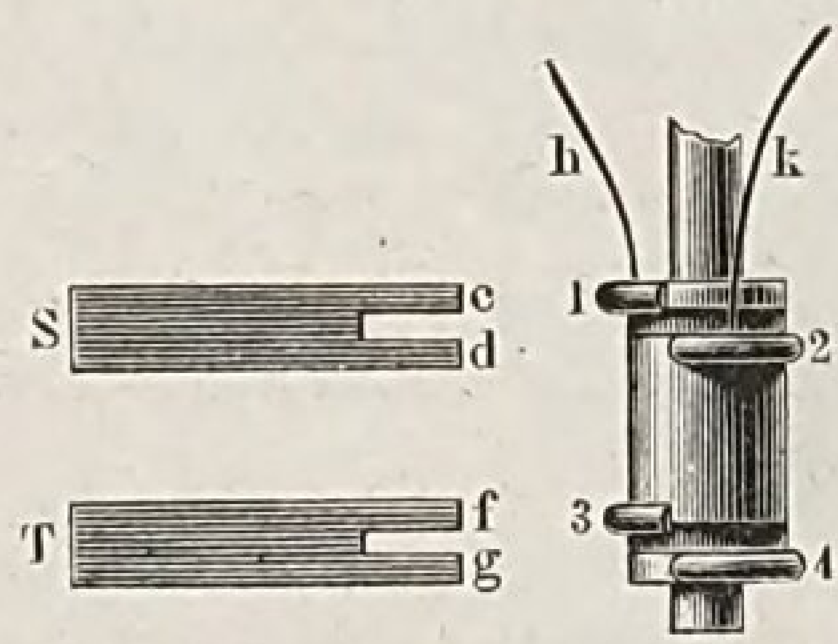


Fig. 616.



sich in die Gabeln *c* und *d*; die Feder *T* theilt sich in die Gabeln *f* und *g*.

Mit der Feder *S* ist die Klemmschraube *a*, Fig. 613, mit *T* ist *b* in leitender Verbindung. Die Klemmschrauben *a* und *b* seien nun auf irgend eine Weise in leitende Verbindung gebracht.

In der Stellung, welche Fig. 613 und Fig. 616 entspricht, schleift *d* auf 2, *g* auf 4, während *c* und *f* frei sind. Wenn nun aber 1 von *h* die positive Elektricität aufnimmt, während 2 mit dem negativen Drahtende *a* in leitender Verbindung steht, so circulirt der positive Strom in folgender Weise durch den Apparat: von *h* geht er durch den Kamm 1 nach 4 und über die Gabel *g* zur Klemmschraube *b*, von dieser durch den eingeschalteten Leiter nach *a*, um über *d* und den Kamm 2 zum negativen Drahtende *k* der Spiralen zu gelangen.

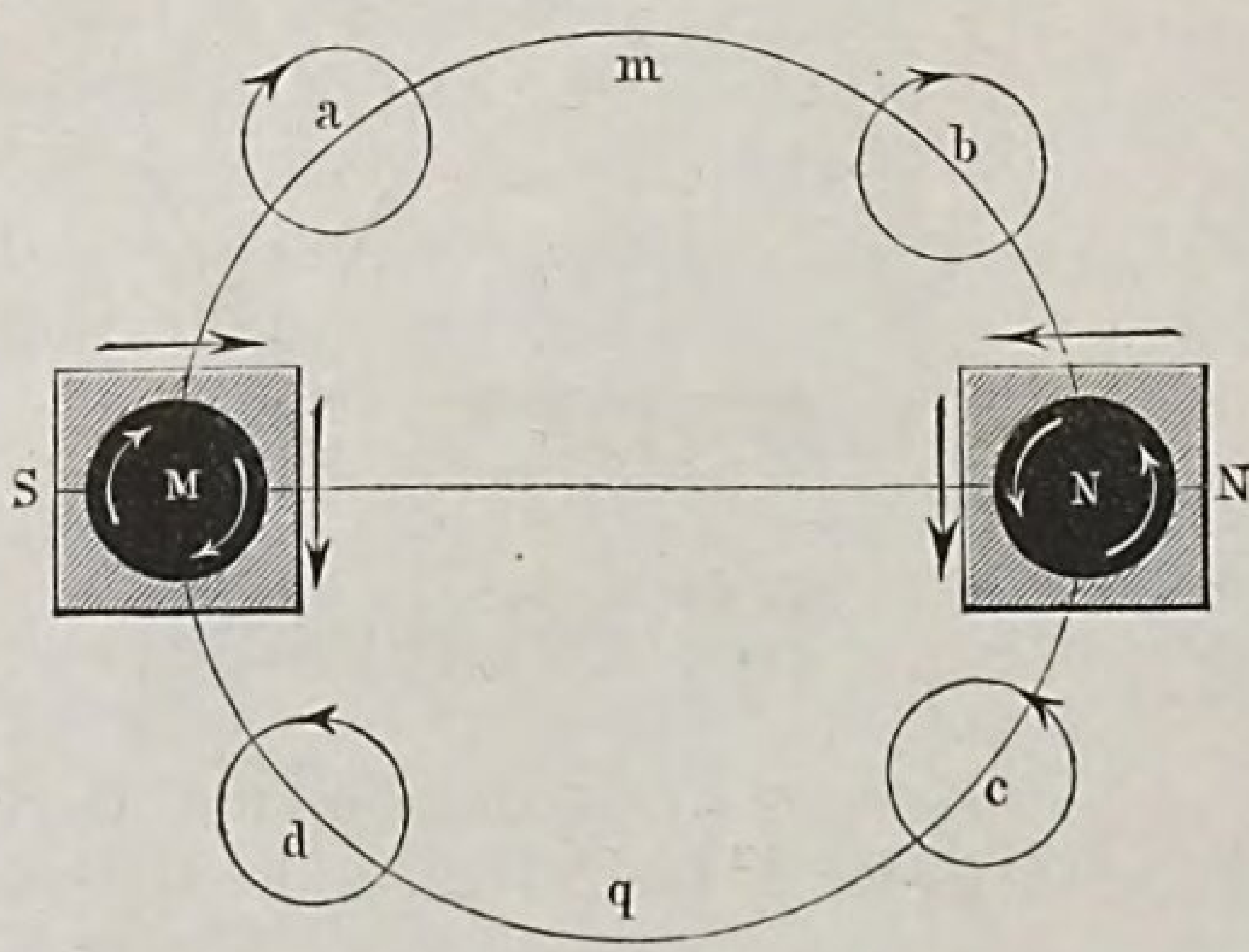
Dreht sich nun die Axe für einen vorn stehenden Beschauer wie der Zeiger einer Uhr, so wird alsbald der Kamm 2 die Gabel *d* und der Kamm 4 die Gabel *g* verlassen, während *c* auf 1 und *f* auf 3 zu liegen kommt; der Commutator ist nun so gestellt, dass dieser Wechsel gleichzeitig mit dem Wechsel der Stromrichtung in den Spiralen stattfindet, so dass also in diesem Moment *k* das positive und *h* das negative Drahtende der Spiralen wird; es geht also der positive Strom jetzt von *k* auf 2 und 3, von da durch *f* nach *b* etc.; es wird also auch jetzt der positive

Strom den zwischen den Klemmschrauben eingeschalteten Körper noch in der Richtung von b nach a durchlaufen.

Durch den Stöhrer'schen Commutator wird also bewirkt, dass der Inductionsstrom durch den zwischen a und b eingeschalteten Körper stets in gleicher Richtung hindurchgeht, obgleich die Stromrichtung in den Spiralen mit jeder halben Umdrehung sich ändert. Wir können dies auch mittelst der Ampère'schen Regel ableiten.

Wenn einer der rotirenden Eisenkerne sich eben vom Südpol S, Fig. 617, des Stahlmagnets zu entfernen beginnt, so werden die Ampère'schen Ströme den Eisenkern in der durch die Pfeilchen angedeuteten Richtung, also wie der Zeiger einer Uhr, umkreisen. Die dadurch hervorgebrachte Polarität des Eisenkerns nimmt allmälig ab, während derselbe sich von S bis m bewegt, und dieser verschwindende Magnetismus des Eisenkerns ruft in den ihn umgebenden Drahtwindungen Inductionsströme hervor, welche mit den verschwindenden Ampère'schen Strömen des Eisenkerns gleichgerichtet sind, also Ströme, wie sie bei a angedeutet sind. In m findet ein Polaritätswechsel im rotirenden Eisenkern statt; die neue Polarität wächst auf dem Wege von m bis N; dieser wachsende Magnetismus erzeugt aber in der Spirale Inductionsströme, welche den zunehmenden Ampère'schen Strömen des Eisenkerns entgegengesetzt sind, und also dieselbe Richtung haben, wie diejenigen, welche auf dem Wege von S bis m inducirt werden. Während der Rotation von S über m bis N bleibt also die Richtung der inducirten Ströme dieselbe, sie ist aber die entgegengesetzte auf dem Wege von N über q nach S.

Fig. 617.



Da nun die Polarität in den Eisenkernen allmälig ab- und zunimmt, so ist klar, dass sich auch die in den Spiralen inducirten Ströme nicht so momentan bilden, dass sie langsamer verlaufen, als die durch eine plötzliche Unterbrechung eines galvanischen Stromes inducirten. Diese Ströme, welche während der Rotation der Spiralen beständig, wenngleich mit veränderlicher Stärke den zwischen den Klemmschrauben a und b, Fig. 613, eingeschalteten Körper durchlaufen, sind also wenig geeignet, kräftige physiologische Wirkungen hervorzubringen; dagegen bringen sie alle anderen Effecte der gewöhnlichen galvanischen Ströme hervor.

Schraubt man in die Klemmschrauben a und b die Drahtenden eines Elektromagnets ein, so wird dieser durch die Inductionsströme erregt;

die Nadel einer zwischen a und b eingeschalteten Tangentenbussole zeigt, da die Ströme stets in gleicher Richtung dieselbe durchlaufen, bei einigermaassen schneller Drehung eine constante Ablenkung. In einem zwischen a und b eingeschalteten Voltameter findet Zersetzung statt und zwar wird das Sauerstoffgas stets an der einen, das Wasserstoffgas stets an der anderen Elektrode ausgeschieden. Der Strom einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine kann, wenn derselbe kräftig genug ist, einen Metalldraht glühend machen etc.

Will man mit dem Rotationsapparate physiologische Schläge hervorbringen, so muss für eine momentane Unterbrechung des Stromes gesorgt sein. Dies geschieht beim Stöhrer'schen Commutator dadurch, dass die Kämme ein wenig über einander greifen, wie dies in Fig. 615 etwas übertrieben gezeichnet ist. Dadurch wird bewirkt, dass bei jeder halben Umdrehung einmal auf ganz kurze Zeit alle vier Kämme des Commutators an den Federn schleifen, so dass die Spiralen direct durch die Federn geschlossen sind und kein Strom durch den Schliessungsbogen geht, welcher zwischen den Klemmschrauben a und b, Fig. 613, eingeschaltet ist. Dieser also im Apparate selbst zurückkehrende Strom ist ziemlich stark, weil er ausser dem Leitungswiderstande in den Spiralen keinen Leitungswiderstand im Schliessungsbogen zu überwinden hat, und in dem Augenblicke, wo nun zwei Kämme ihre Federn verlassen, wo also dieser directe Strom unterbrochen wird, entsteht in Folge dieser Stromunterbrechung in den Spiralen ein Extrastrom, welcher in dem zwischen a und b mittelst Handgriffen eingeschalteten menschlichen Körper einen heftigen Schlag hervorbringt. Diesen Schlag erhält also der Körper zweimal bei jeder Umdrehung der Rotationsaxe.

Die Unterbrechung des im Apparate selbst zurückkehrenden Stromes giebt sich auch durch einen kräftigen an der Unterbrechungsstelle auftretenden Funken zu erkennen.

Der Commutator ist so gestellt, dass zwei Kämme immer in demselben Momente die Feder verlassen, in welchem die Eisenkerne gleichsam von den Polen des Elektromagnets abreissen.

Die Einrichtung der Spiralen ist verschieden, je nachdem man verschiedene Wirkungen damit hervorbringen will. Ist im Schliessungsbogen ein grosser Leitungswiderstand zu überwinden, so müssen die Spiralen aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes gebildet sein; dies ist z. B. der Fall bei Inductoren, welche dienen sollen, um starke physiologische Effecte zu geben. Mit solchen dünndrahtigen Inductoren bringt man aber einen dünnen Metalldraht, welcher in dem Schliessungsbogen eingeschaltet ist, nicht ins Glühen; dazu ist ein Strom von grösserer Quantität nöthig, wie er erhalten wird, wenn die Spirale aus wenigen Windungen eines dickeren Drahtes gebildet ist.

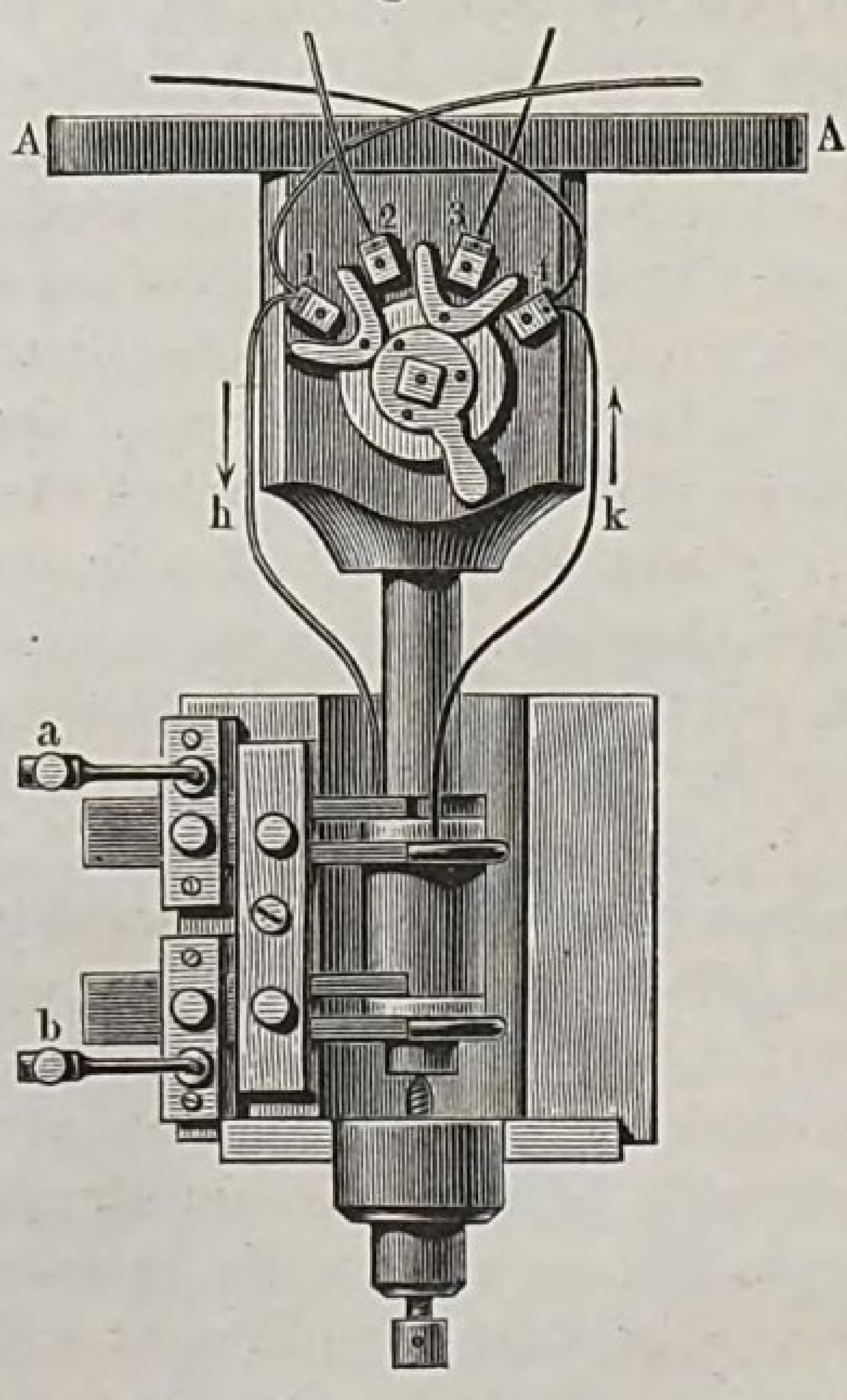
Je nachdem ein Inductor aus dünnem oder dickem Draht gebildet ist, nennt man ihn manchmal einen Intensitätsinductor oder einen Quantitätsinductor.

Bei manchen Maschinen ist die Einrichtung getroffen, dass man nach Belieben einen Quantitäts- oder einen Intensitätsinductor einsetzen kann. Denselben Zweck, welchen man durch Vertauschung der Inductoren erreicht, kann man auch durch eine Vorrichtung erreichen, welche erlaubt, die beiden Spiralen auf verschiedene Weise zu combiniren. Eine solche Vorrichtung führt den Namen Pachytrop. Betrachten wir denselben etwas näher.

Jede der beiden rotirenden Spiralen bildet für sich einen Elektromotor, man kann also die beiden Spiralen in gleicher Weise wie zwei Volta'sche Becher gleichsam hinter einander zu einer Säule von zwei Elementen, oder neben einander zu einem einzigen Elemente vereinigen, dessen Leitungswiderstand nur halb so gross ist, als der einer einzelnen Spirale.

Der Pachytrop, welchen Stöhrer an seinen mittelgrossen Maschinen anbringt, hat folgende aus Fig. 618 zu ersehende Einrichtung.

Fig. 618.



Es stellt AA die eiserne Platte dar, welche die eisernen Kerne der beiden Drahtrollen trägt und durch deren Mitte die Rotationsaxe des ganzen Apparates geht; an derselben ist, dem Commutator zugewendet, ein auf zwei Seiten abgeflachtes Stück Holz befestigt, welches auf der einen Seite die fragliche Vorrichtung trägt.

Auf der Holzfläche sind zunächst vier Kupferplättchen befestigt, welche in Fig. 618 mit 1, 2, 3 und 4 bezeichnet sind. An 1 und 2 sind zwei gleichnamige Drahtenden der beiden Drahtspiralen befestigt, die beiden anderen Drahtenden bei 3 und 4. Nehmen wir z. B. an, das von der Spirale rechts kommende Drahtende, welches bei 1 befestigt ist, sei für einen bestimmten Moment positiv, so ist dasjenige Drahtende der linken Spirale, welches gleichzeitig positiv ist, in 2 befestigt. — Das bei 4 befestigte Drahtende führt zur linken, das bei 3 befestigte Drahtende führt zur rechten Spirale; diese beiden sind in dem eben besprochenen Momente negativ.

Von 1 führt ein Kupferdraht h zum ersten, von 4 ein anderer k zum zweiten halbkreisförmigen Kamme des Commutators.

Die vier Kupferstückchen 1, 2, 3 und 4 liegen auf dem Umfange eines Kreises, in dessen Mittelpunkt eine um denselben drehbare Elfen-

beinscheibe befestigt ist; diese trägt zwei von einander isolirte Gabeln von Kupfer, welche in unserer Figur in solcher Stellung gezeichnet sind, dass ihre Arme nicht auf die Kupferstückchen fallen. Bei solcher Stellung sind die Spiralen gar nicht geschlossen; bei der Umdrehung der Rotationsaxe kann man also auch keinerlei Stromwirkung erhalten.

Nun aber werde die Elfenbeinscheibe so gedreht, dass 1 und 2 durch die eine, 3 und 4 durch die andere Gabel verbunden sind. Der positive Strom der Spirale rechts kommt jetzt direct nach 1, der positive Strom der Spirale links kommt über 2 durch die Gabel gleichfalls nach 1, der Draht *h* führt also die positiven Ströme beider Spiralen dem ersten Kamme des Commutators zu, während er nachher durch den Draht *k'* nach 4 gelangt, um sich hier zu theilen, indem er von 4 direct zur linken und durch die zweite Gabel über 3 zur rechten Spirale gelangt. Der Strom, welcher den Schliessungsbogen zwischen *a* und *b* durchläuft, geht also zur Hälfte durch die eine, zur Hälfte durch die andere Spirale.

Betrachtet man jede Spirale als einen Elektromotor, so sind hier gleichsam die beiden Elektromotoren neben einander combinirt; die elektromotorische Kraft ist dieselbe, der Widerstand ist halb so gross als für eine Spirale allein.

Diese Combination ist anzuwenden, um stärkere Ströme im Schliessungsbogen von verhältnissmässig geringem Widerstande zu erhalten.

Wird die Elfenbeinscheibe so gedreht, dass 2 und 3 durch eine Gabel leitend verbunden werden, so muss der Strom beide Spiralen hinter einander durchlaufen. Der positive Strom, welcher durch *k* bei 4 eintritt, geht von da in die Spirale links; nachdem er diese durchlaufen hat, gelangt er über 2 durch die Gabel nach 3, um die Spirale rechts zu durchlaufen und dann über 1 und *h* zum Commutator zu gelangen.

Für diese Combination sind also gewissermaassen die beiden elektromotorischen Elemente zur Säule verbunden, man hat die doppelte elektromotorische Kraft und den doppelten Widerstand einer einzigen Spirale, die elektromotorische Kraft ist also doppelt, der Widerstand 4mal so gross als für die zuerst genannte Combination.

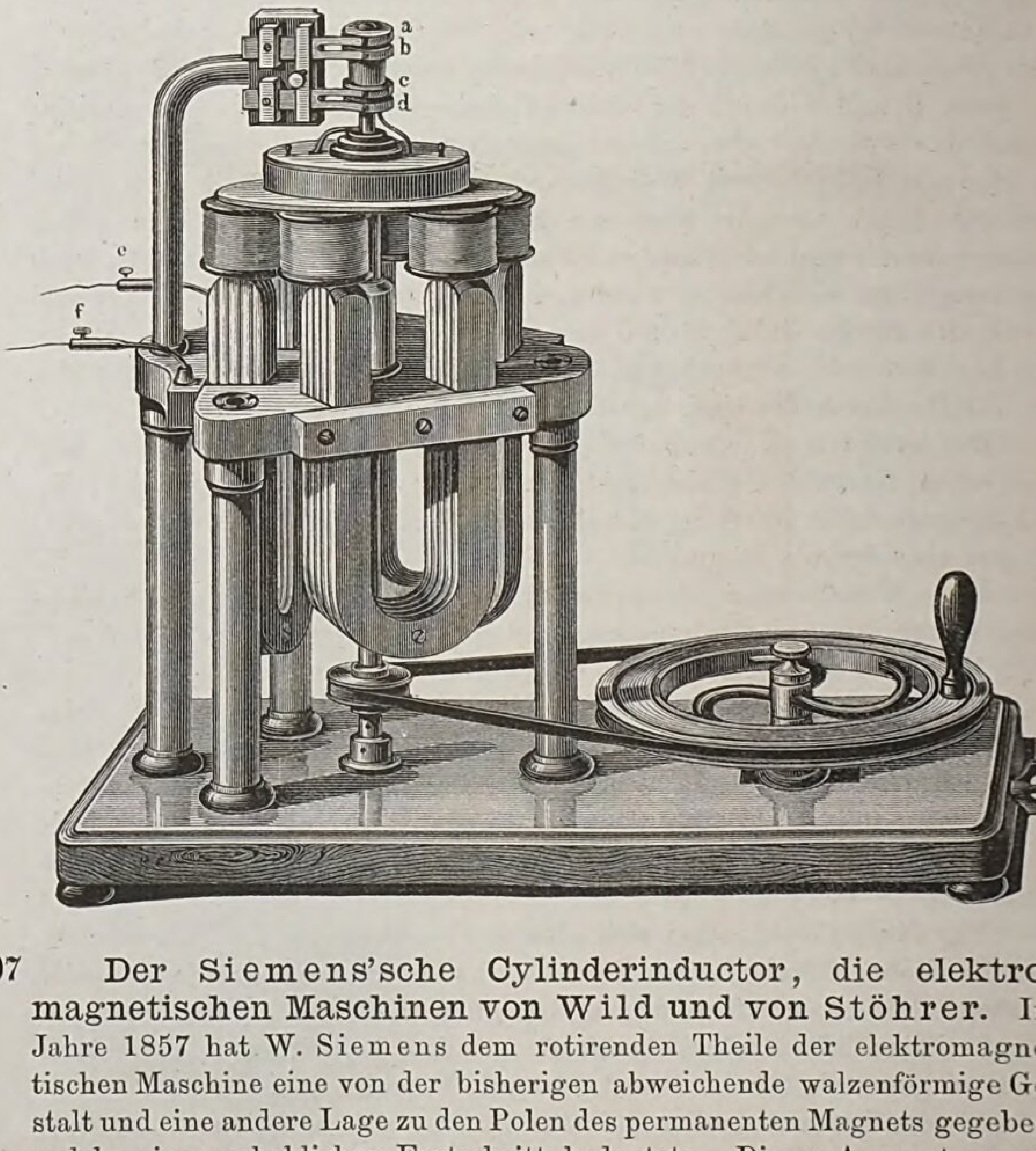
Diese Combination der Spiralen ist in solchen Fällen zu wählen, wo ein grösserer Widerstand in den Schliessungsbogen eingeschaltet ist; bei dieser Stellung der elfenbeinernen Scheibe erhält man auch die stärksten physiologischen Wirkungen.

Stöhrer hat grössere Rotationsapparate, Fig. 619 (a. f. S.), mit drei aufrecht stehenden Magneten und sechs Inductionsrollen construirt, welche gleichfalls durch ein Pachytrop, welches aber natürlich complicirter ist, auf verschiedene Weise combinirt werden können.

Noch grösser waren die magnetelektrischen Maschinen, welche Nollet in Brüssel construirt hat und welche in verbesserter Form von der Gesellschaft „l'Alliance" benutzt wurden, um die Leuchtthürme mit elektrischem Licht zu versorgen. Da jedoch diese Maschinen durch

neuere längst überholt sind, so wollen wir ihre nähere Beschreibung hier übergehen.

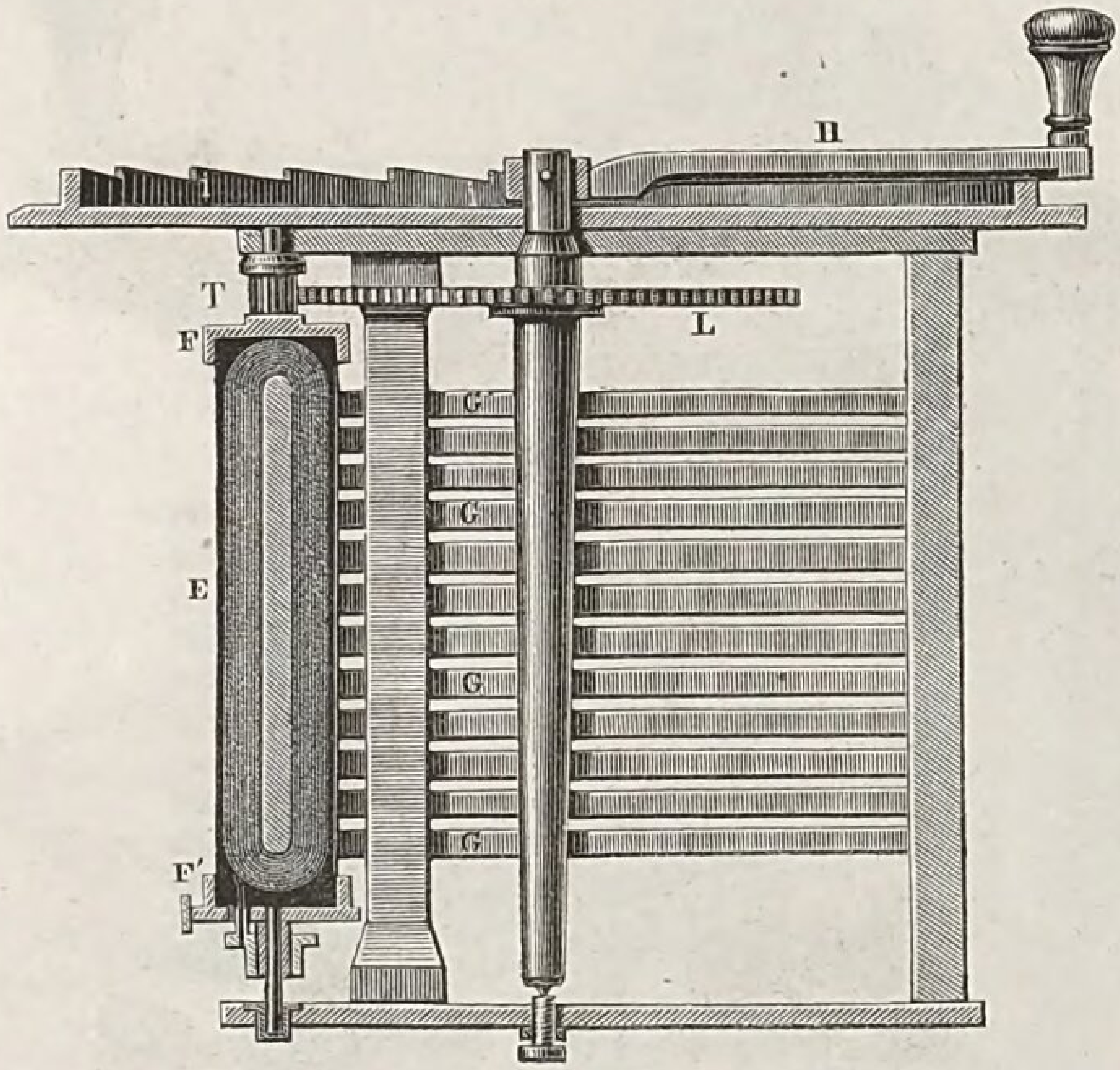
Fig. 619.



197 **Der Siemens'sche Cylinderinductor, die elektromagnetischen Maschinen von Wild und von Stöhrer.** Im Jahre 1857 hat W. Siemens dem rotirenden Theile der elektromagnetischen Maschine eine von der bisherigen abweichende walzenförmige Gestalt und eine andere Lage zu den Polen des permanenten Magnets gegeben, welche einen erheblichen Fortschritt bedeutete. Dieser Apparat wurde von seinem Erfinder Cylinderinductor genannt. Die Figg. 620 bis 622 stellen denselben dar. An einer vertical stehenden Eisenplatte sind zwei Reihen horizontaler Magnetstäbe $G\,G'$ befestigt, welche an ihrem vorderen freien Ende an der nach innen gekehrten Seite bei m cylindrisch ausgedreht sind, wie man dies am deutlichsten im horizontalen Durchschnitt, Fig. 621, sieht. In der hierdurch gebildeten cylindrischen Höhlung dreht sich der Cylinder E, welcher auf folgende Weise construirt ist. Zwei eiserne Cylinderabschnitte $f\,f'$ sind durch eine eiserne Platte g verbunden, wie man Fig. 621 sieht. Diese verbindende Platte hat aber nicht ganz die Höhe der seitlichen Stücke f, so dass das Ganze

eine Art Galvanometerrahmen bildet, welcher mit übersponnenem Kupferdraht so weit vollgewickelt wird, dass das Ganze einen Cylinder bildet, welcher, mit einer schützenden Hülle umgeben, oben und unten

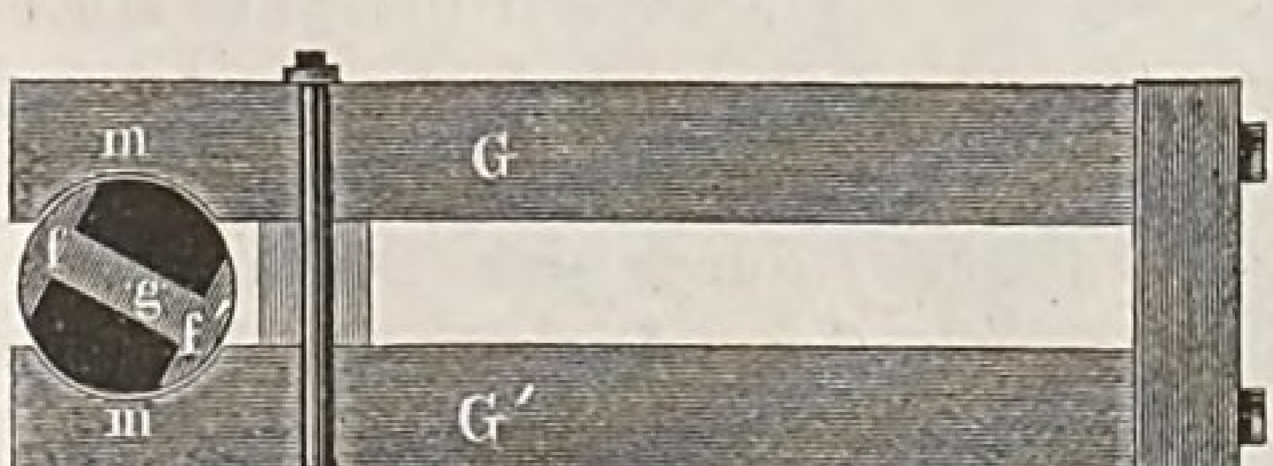
Fig. 620.



mit den Metallfassungen F und F' versehen wird. Die Umdrehung des Cylinders E um seine verticale Axe wird vermittelst der Kurbel H, des Zahnrades L und des Triebes T bewirkt.

Die Zähne i welche eine unter der Kurbel H angebrachte Scheibe J umgeben, dienen dazu, bei der Fortschiebung der Kurbel um je einen Zahn den Cylinder E um je eine halbe Umdrehung vorwärts drehen zu können, so dass man den dadurch erzeugten einmaligen Inductionsstoss erhalten kann.

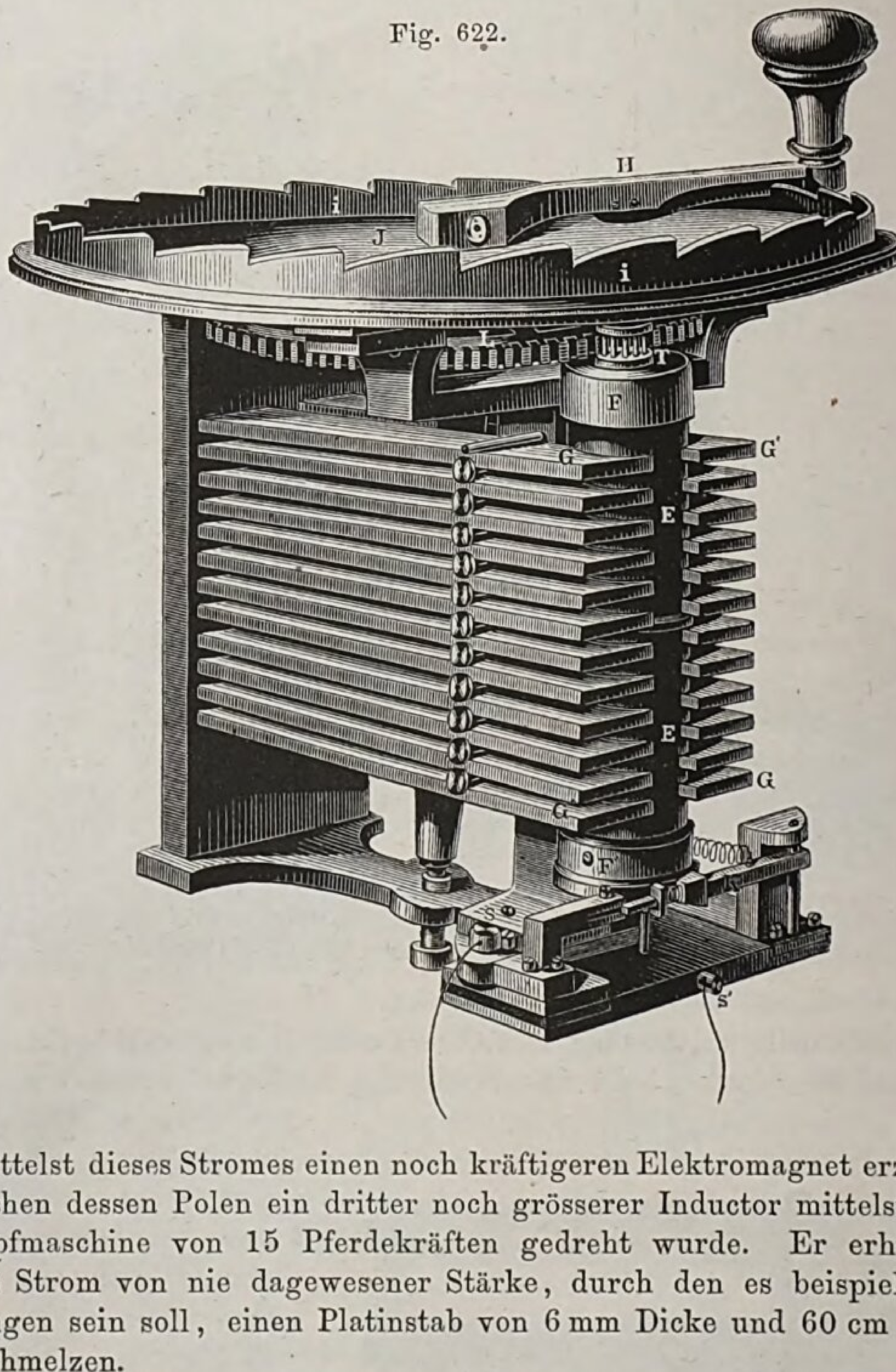
Fig. 621.



H. Wilde in Manchester hat 1866 den Siemens'schen Inductor zur Construction einer sehr grossen magneto-elektrischen Maschine benutzt. Dieselbe enthielt zwei Inductoren. Der kleinere zwischen den Polen von Stahlmagneten rotirende lieferte den Strom für einen grossen Elektromagnet, zwischen dessen Polen dann der zweite grössere Inductor rotirte. Der Strom des letztern stand dann zu ander-

weitigen Zwecken zur Verfügung. Die Inductoren wurden durch eine dreipferdige Dampfmaschine getrieben. Wilde ging sogar noch weiter, indem

Fig. 622.



er mittelst dieses Stromes einen noch kräftigeren Elektromagnet erzeugte, zwischen dessen Polen ein dritter noch grösserer Inductor mittelst einer Dampfmaschine von 15 Pferdekräften gedreht wurde. Er erhielt so einen Strom von nie dagewesener Stärke, durch den es beispielsweise gelungen sein soll, einen Platinstab von 6 mm Dicke und 60 cm Länge zu schmelzen.

Bei den bisher beschriebenen Maschinen war es nicht so sehr die Annäherung (und Entfernung) eines Magnetpols an einen Stromleiter allein, sondern insbesondere auch die Annäherung (und Entfernung) an den innerhalb des Leiters (der Spirale) befindlichen Eisenkern, wodurch die Inductionsströme hervorgerufen wurden.

Als Beispiel einer älteren Maschine, bei welcher ein rotirender Elektromagnet auf einen Leiter ohne Eisenkern einwirkt und dadurch

Inductionsströme erzeugt, kann der in Fig. 456, Seite 512 abgebildete Apparat von Stöhrer dienen, wenn man ihn nicht, wie dort beschrieben

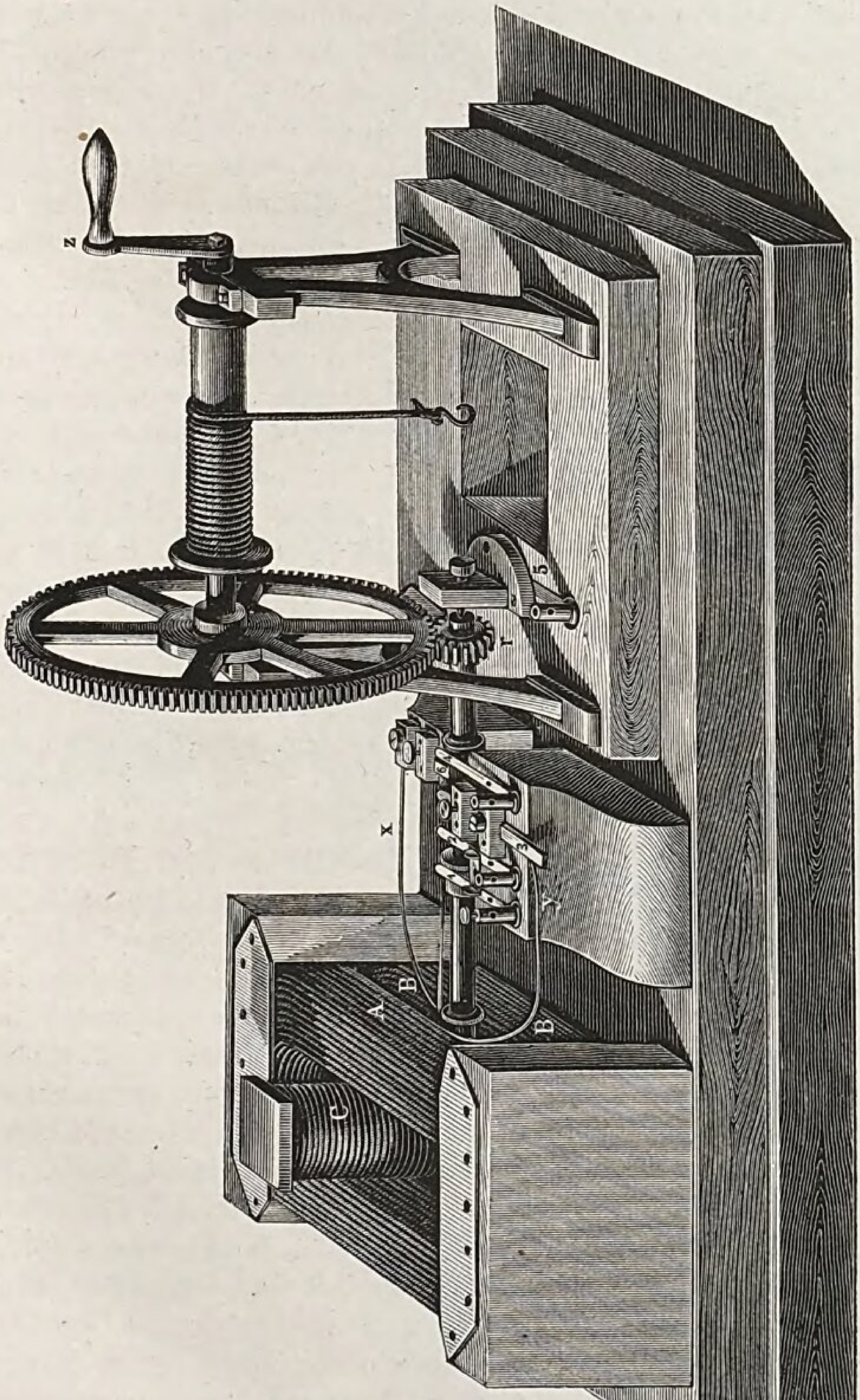
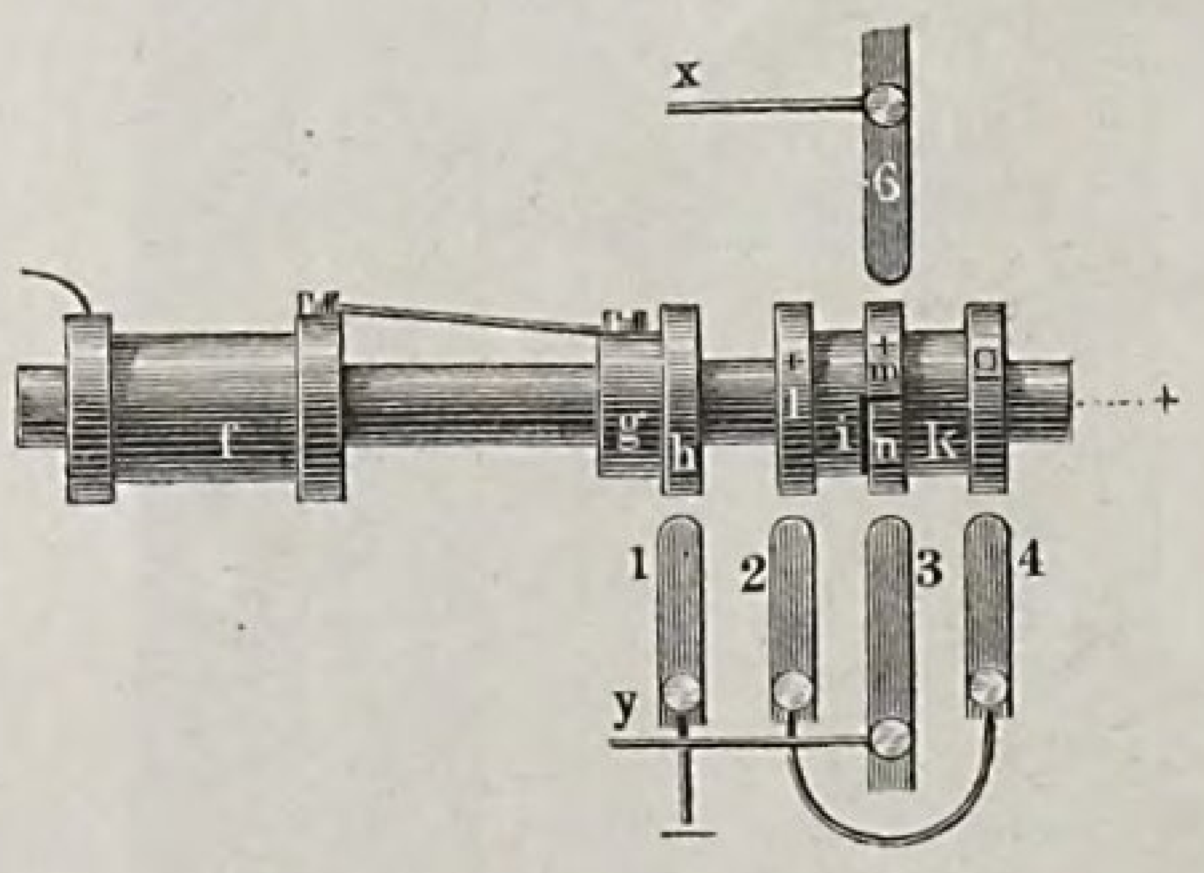


Fig. 623.

ist, als elektromagnetischen Motor, sondern umgekehrt als magnetelektrischen Inductionsapparat in Gang setzt. Zu diesem Zwecke dreht

man zunächst den Verbindungsbügel *s*, Fig. 457, S. 514, aus seiner dort gezeichneten Lage um 90° um, so dass er parallel mit den Federn 1 und 2 steht und keine leitende Verbindung mehr zwischen denselben stattfindet. In Fig. 624 ist dieser Verbindungsbügel *s* ganz weggelassen. Ferner wird der negative Poldraht der stromerregenden Säule in das Messingsäulchen der Feder 1 eingeschraubt. Der Strom tritt jetzt durch die Feder 5, Fig. 623, ein, gelangt durch die Rotationsaxe des Apparates in die Windungen des Elektromagnets und tritt durch die Feder 1 aus, ohne in die Windungen der Rahmen eintreten zu können.

Fig. 624.



Wird nun der Elektromagnet mit Hülfe der Kurbel *z*, Fig. 623, umgedreht, so entsteht in den Windungen der Rahmen ein Inductionsstrom, sobald die Säulchen der Federn 2 und 4 in leitende Verbindung gebracht werden.

Da dieser Inductionsstrom durch den Commutator geht, so erhält man ihn gleich commutirt, d. h. stets in gleicher Richtung und nicht bei jeder halben Umdrehung richtungswechselnd, wie er in den Spiralen ursprünglich entstand.

198 **Die magneto-elektrische Maschine von Pacinotti-Gramme, und ihre Umbildung zur dynamoelektrischen Maschine; das Siemens'sche Princip.** Die sämmtlichen in den beiden letzten Paragraphen beschriebenen Inductionsapparate sind an Bedeutung übertroffen durch eine Reihe neuerer Apparate, mittelst welcher, auch ohne Vorhandensein permanenter Magnete, lediglich durch Aufwand von Arbeitskraft elektrische Ströme von ununterbrochener Dauer, unveränderter Richtung und enorm grosser Intensität gewonnen werden können. Unter diesen neueren Apparaten nimmt die Pacinotti-Gramme'sche Maschine einen hervorragenden Platz ein. Dieselbe wurde im Jahre 1860 von Dr. Antonio Pacinotti in Florenz ursprünglich als elektromagnetische Maschine erfunden und im Jahre 1864 im Bande XIX, S. 378 des Journals „Il Nuovo Cimento" ausführlich beschrieben und abgebildet. Aber schon gegen das Ende dieser Abhandlung hat der Erfinder bestimmt angegeben, dass man den Apparat aus einem elektromagnetischen Motor in eine magneto-elektrische Maschine umwandeln könne. Wir haben die Pacinotti'sche Ringmaschine als elektromagnetischen Motor bereits im §. 154 besprochen und durch eine ideale Abbildung Fig. 462 ihr Princip auseinandergesetzt. Des historischen Interesses wegen wollen wir hier noch die Abbildung des Erfinders

selbst reproduciren. Fig. 625 giebt den Aufriss, Fig. 626 den Grundriss des Apparates. Die Abbildungen sind etwas mangelhaft; man er-

Fig. 625.

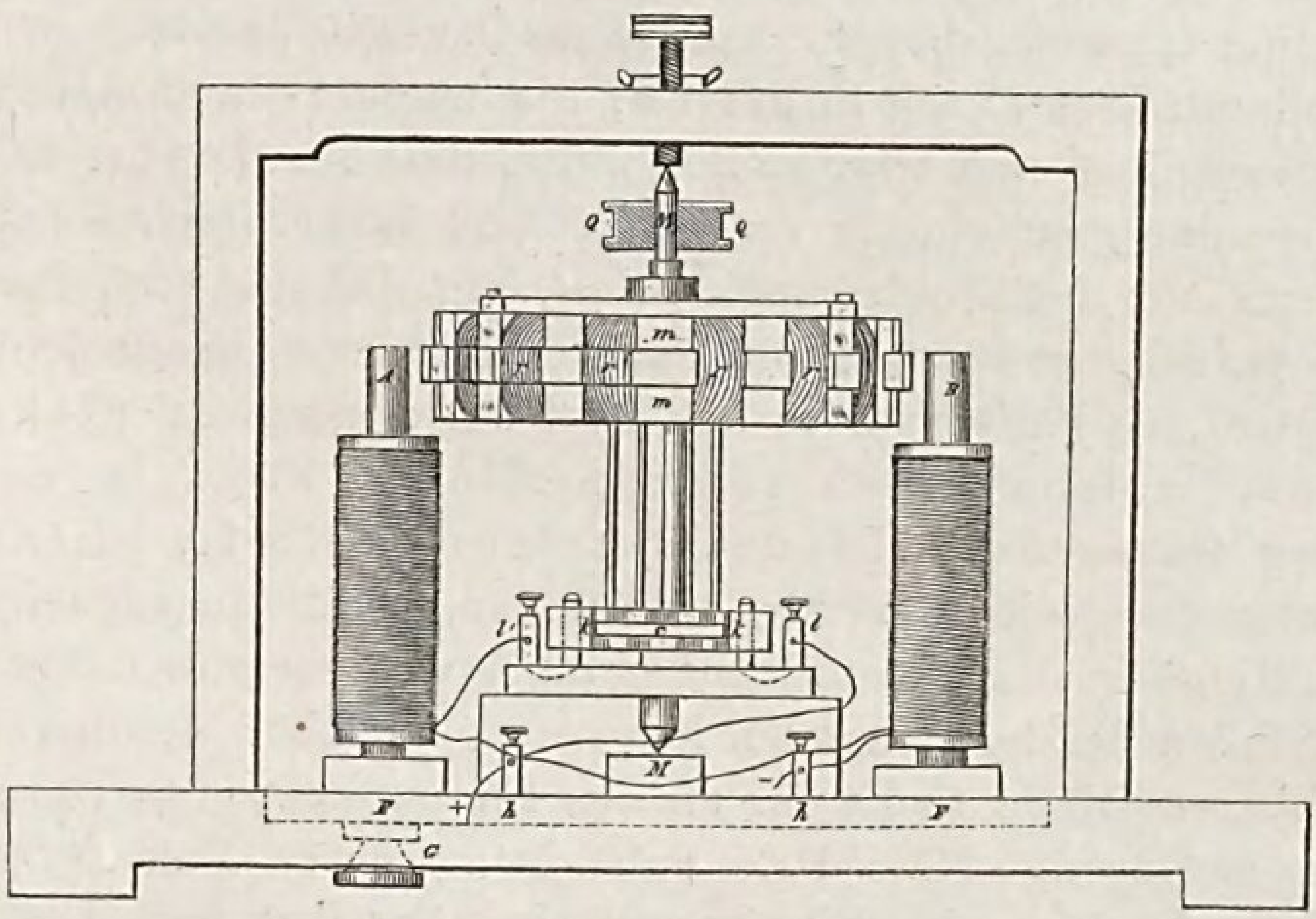
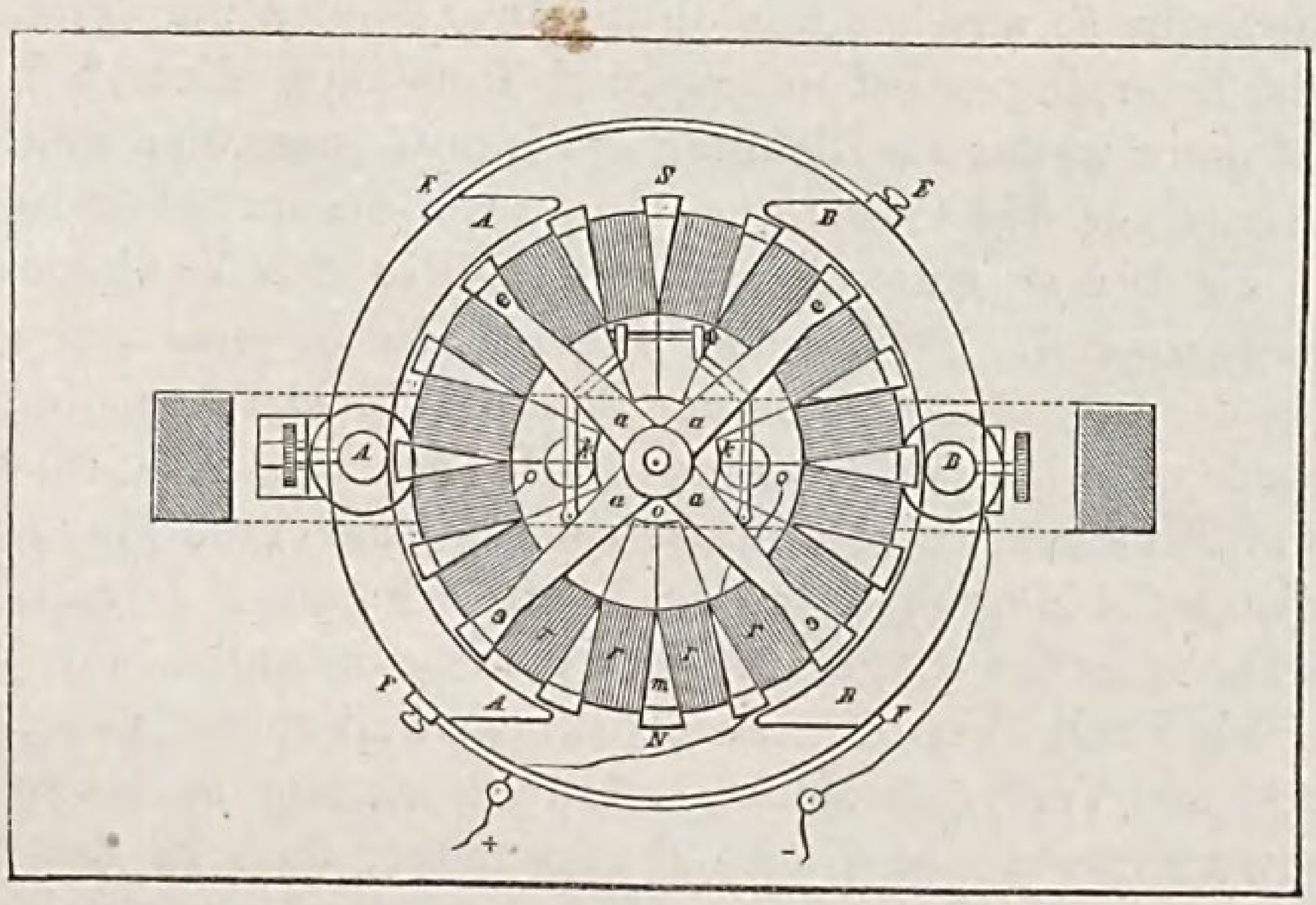


Fig. 626.



kennt jedoch sofort die Haupttheile. *A* und *B* sind die feststehenden Pole eines Elektromagnets, dessen beide Schenkel durch die Eisenschiene *FF* verbunden sind, *rr* ist der spiralförmig umwickelte Eisenring, *k* und *k* sind die beiden Contactrollen, welche den Contactstücken c_1 und c_2 der Fig. 462 entsprechen, welche jedoch aus der in der Zeichnung angegebenen Lage gegen die um 90⁰ abweichende verschoben werden müssen, wenn die Maschine fungiren soll. Dient die Maschine als elektromagnetischer Motor, so tritt der Strom bei *h* (+) ein, geht über die Klemme *l* zur Contactrolle *k*, von dort zu den Windungen des Ringes, theilt sich daselbst und durchläuft die Spiralen der beiden Ringhälften

bis zur gegenüberliegenden Stelle des Ringes, vereinigt sich dort wieder und gelangt über die andere Contactrolle k zur Klemme l', dann zur Spule des Schenkels A, von dort zur Spule des Schenkels B und verlässt bei h (—) den Apparat. Die umgekehrte Anwendung des Apparates als Inductionsapparat geben wir mit den ins Deutsche übertragenen Worten des Erfinders selbst (Nach Schellen, die magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen) und zwar zum Beweise, dass Pacinotti das Princip dieser Maschine ganz richtig verstanden und ausgesprochen hat.

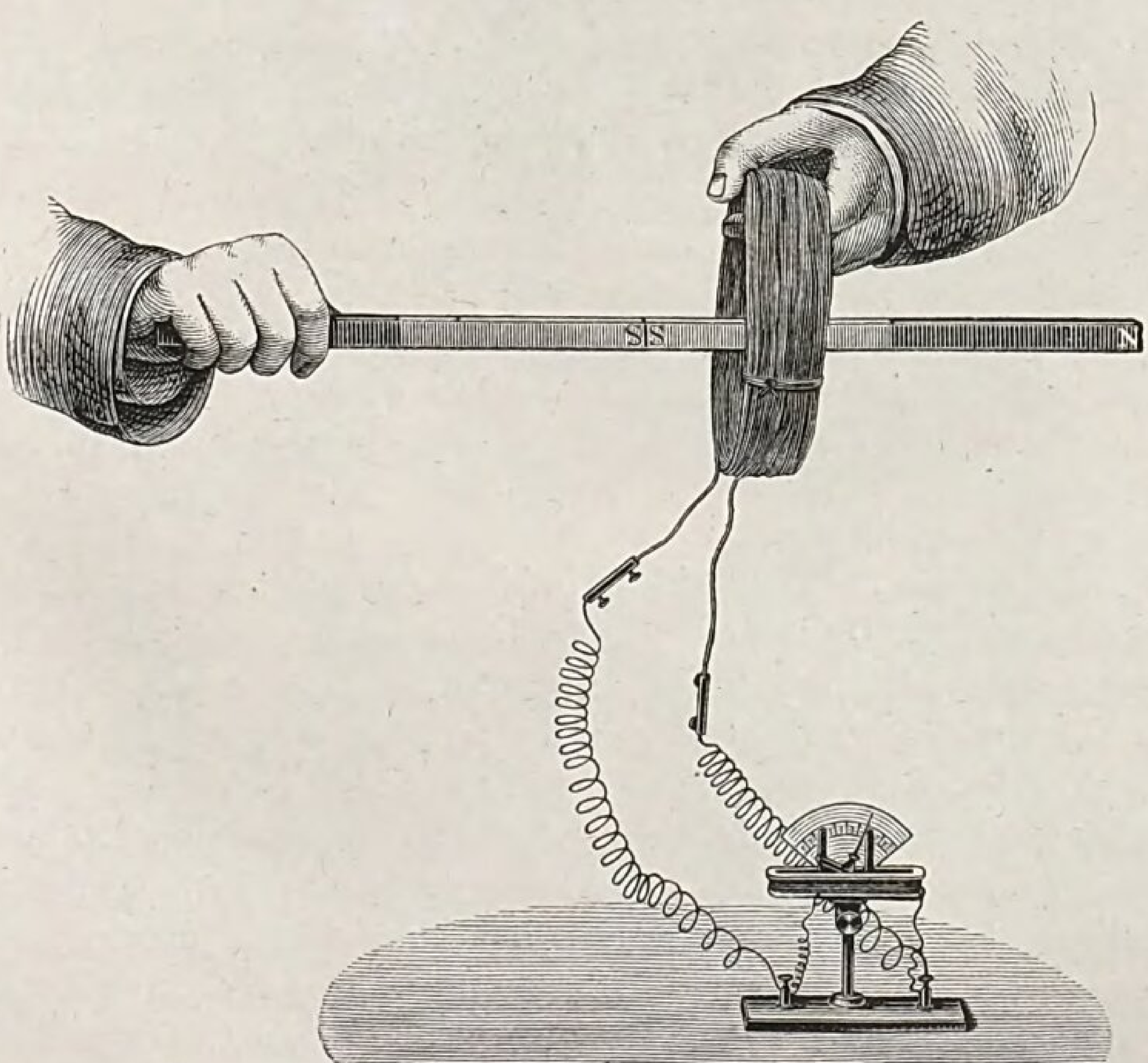
„Wenn man den Elektromagnet AB, Fig. 625 und 626, durch einen permanenten Magnet ersetzte und man den Transversalmagnet (den Ring) rotiren liesse, so hätte man in der That eine magnet-elektrische Maschine, welche einen continuirlichen stets in derselben Richtung fliessenden Inductionsstrom lieferte. Um auf dem Commutator die geeignetste Stelle zu finden, wo dieser inducirte Strom (aus dem Ringe in die Leitung) übergeführt werden muss, bedenken wir, dass den Polen des feststehenden Magnets gegenüber durch Influenz in dem drehbaren Ringe und zwar an den Endpunkten eines Durchmessers desselben entgegengesetzte Pole entstehen. Diese Pole NS behalten während der Drehung des Ringes um seine Axe ihre feste Lage, und so dürfen wir bezüglich des Magnetismus und folglich auch der inducirten Ströme die Sache so ansehen, als ob die Drahtspulen um den Ring rotirten und der Eisenring selbst unbeweglich feststehen bliebe.“ Pacinotti untersucht dann weiter die Richtung der Inductionsströme und bestimmt ganz richtig, dass die Contactrollen am Commutator in rechten Winkeln zu der magnetischen Kraftlinie des Elektromagnets anzubringen sind. „Wenn man dagegen die Stromsammler am Commutator in der Verbindungslinie der Pole des Elektromagnets anbringen wollte, würden sie bei der Drehung des Ringes keinen Strom erhalten.“ Pacinotti hat dann theils mittelst eines permanenten Magnets, theils durch galvanische Magnetisirung des Elektromagnets AB und durch mechanische Drehung des Ringes wirklich einen constanten Inductionsstrom erzeugt. Wir constatiren dies ausdrücklich, weil später versucht wurde, Pacinotti das Verdienst seiner Erfindung streitig zu machen. Diese Versuche wurden auf den Umstand gegründet, dass in den Figg. 625 und 626 die Contactrollen nicht in der richtigen Lage gezeichnet sind. Auch dadurch kann ein Missverständniss veranlasst werden, dass die Buchstaben N und S der Fig. 626 offenbar nicht die Bedeutung der im Text Pacinotti's erwähnten Pole N und S haben, sondern die Bedeutung der Pole n, n_1 und s, s_1 in Fig. 462, nämlich der Pole, welche durch den Strom im Ringe entstehen, wenn der Apparat als elektromagnetischer benutzt wird. Diese Irrthümlichkeiten der Zeichnung können aber gegenüber der ganz deutlichen und correcten Fassung des Textes nicht in Betracht kommen und muss daher Pacinotti unbedingt als der erste Erfinder und Constructeur der Maschine bezeichnet werden, welche unter Aufwand von Arbeitskraft einen

continuirlichen, stets gleich gerichteten Inductionsstrom liefert.

Dem Belgier Zénobe Théophile Gramme, welcher als Mechaniker bei der französischen Gesellschaft l'Alliance beschäftigt war, bleibt das unbestreitbare Verdienst, die von Pacinotti erfundene, aber unbeachtet gebliebene Maschine im Jahre 1871 unabhängig neu erfunden und in constructiver Beziehung so verbessert zu haben, dass hierdurch ihre praktische Einführung ermöglicht wurde; deshalb wird diese Maschine meistens die Gramme'sche Maschine genannt. Wir haben dieselbe bisher, der historischen Entwickelung folgend, als Umkehrung des Pacinotti'schen elektromagnetischen Motors aufgefasst. Es dürfte sich aber empfehlen, ihre Construction direct aus den Fundamentalversuchen über Magnetinduction abzuleiten. Wir können dazu eine Reihe einfacher Vorlesungsexperimente benutzen, die im Nachfolgenden beschrieben werden sollen.

1. Versuch. Wir nehmen eine Drahtrolle zur Hand, deren Enden mit einem Galvanometer, z. B. dem auf S. 455, Fig. 398 beschriebenen Verticalgalvanoskop, oder einem projicirenden Spiegelgalvanometer in Verbindung stehen und demonstriren die mittelst eines Magnetstabes nach §. 187 hervorzurufenden Inductionsströme.

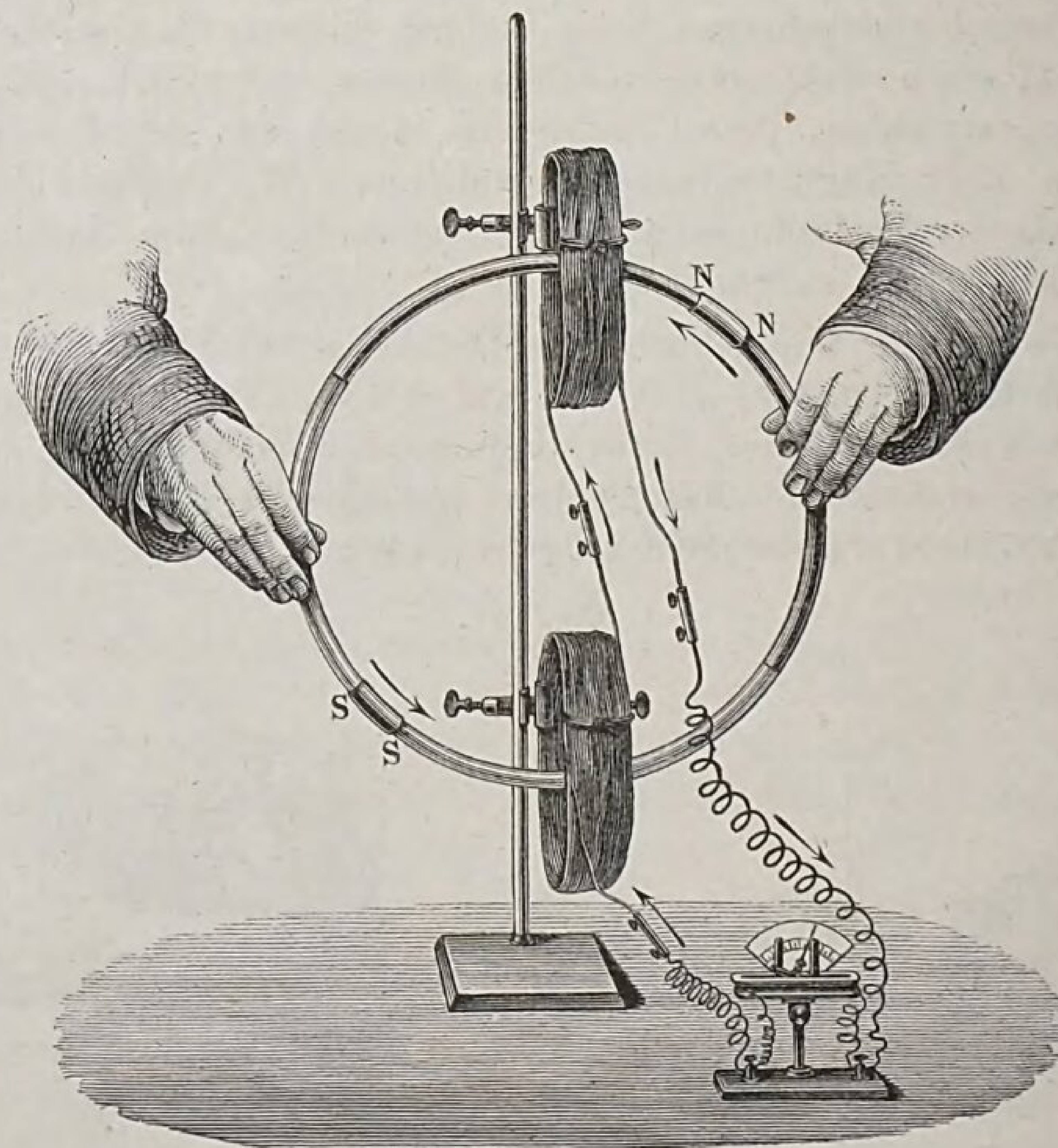
Fig. 627.



2. Versuch. Wir wiederholen dieses Experiment mittelst eines Stabes, der aus zwei Magnetstäben zusammengesetzt ist, die mit ihren gleichnamigen Polen an einander stossen (Fig. 627) und zeigen, dass dabei die Richtung des Inductionsstromes jedesmal in dem Momente wechselt, wo ein Indifferenzpunkt die Drahtrolle passirt.

3. Versuch. Wir stellen zwei Drahtrollen vertical über einander auf, wie Fig. 628 ersichtlich macht, verbinden dieselben unter ein

Fig. 628.



ander, wie die Drahtspulen eines Hufeisenmagnets und schalten ausserdem wiederum das Galvanoskop ein. Dann nehmen wir zwei halbkreisförmige magnetisirte Stahlstäbe, Fig. 629, stecken dieselben durch die beiden Drahtringe und vereinigen sie mittelst aufgesteckter Messinghülsen zu einem Ringmagnete, so zwar, dass die gleichnamigen Pole einander zugekehrt sind. Die entgegengesetzt magnetischen Hälften der Stäbe sind durch dunkle und helle Färbung wie bei den Compassnadeln erkennbar gemacht. Wenn wir nun den Ring stets in demselben Sinne drehen, so erhalten wir am Galvanoskope während einer ganzen Umdrehung nach einander zwei entgegengesetzte Ströme, deren Richtung in dem Momente umgekehrt wird, wo die Indifferenzpunkte die beiden Drahtrollen passiren. Der magnetische Ring bringt also dieselbe Wir-

kung hervor, wie eine unendliche Reihe von Magnetstäben, die nach Fig. 627 an einander gefügt sind. Nun denken wir uns statt der Drahtspiralen eine grössere Anzahl von Windungen, welche über den ganzen Magnetring gleichmässig vertheilt sind und alle zusammen zu einer kreisförmig in sich zurückkehrenden Spirale verbunden sind. Um sich dies zu vergegenwärtigen, denke man sich in Fig. 630, welche eine übersichtliche schematische Zeichnung der Maschine vorstellt, zunächst den Elektromagnet NS ganz fortgenommen, die Drahtspiralen des Ringes feststehend und den Magnetring, dessen Pole sich eben jetzt in N_1 und S_1 befinden, entgegengesetzt zu dem Pfeile p rotirend. Man erhält dann nach den angegebenen Regeln in den einzelnen Windungen Inductionsströme von der Richtung der kleinen Pfeile. Diese Richtung wechselt an den

Fig. 629.

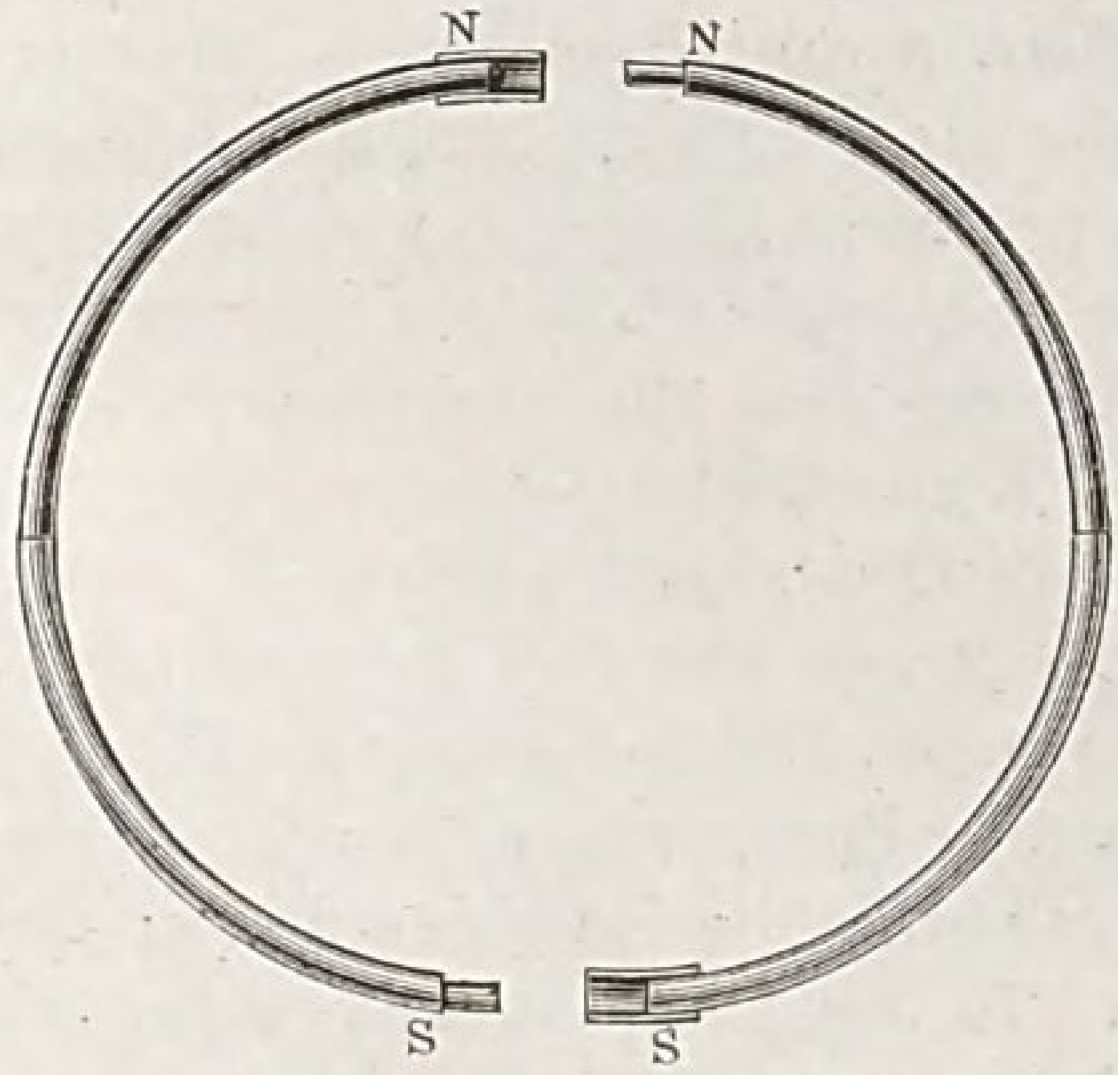
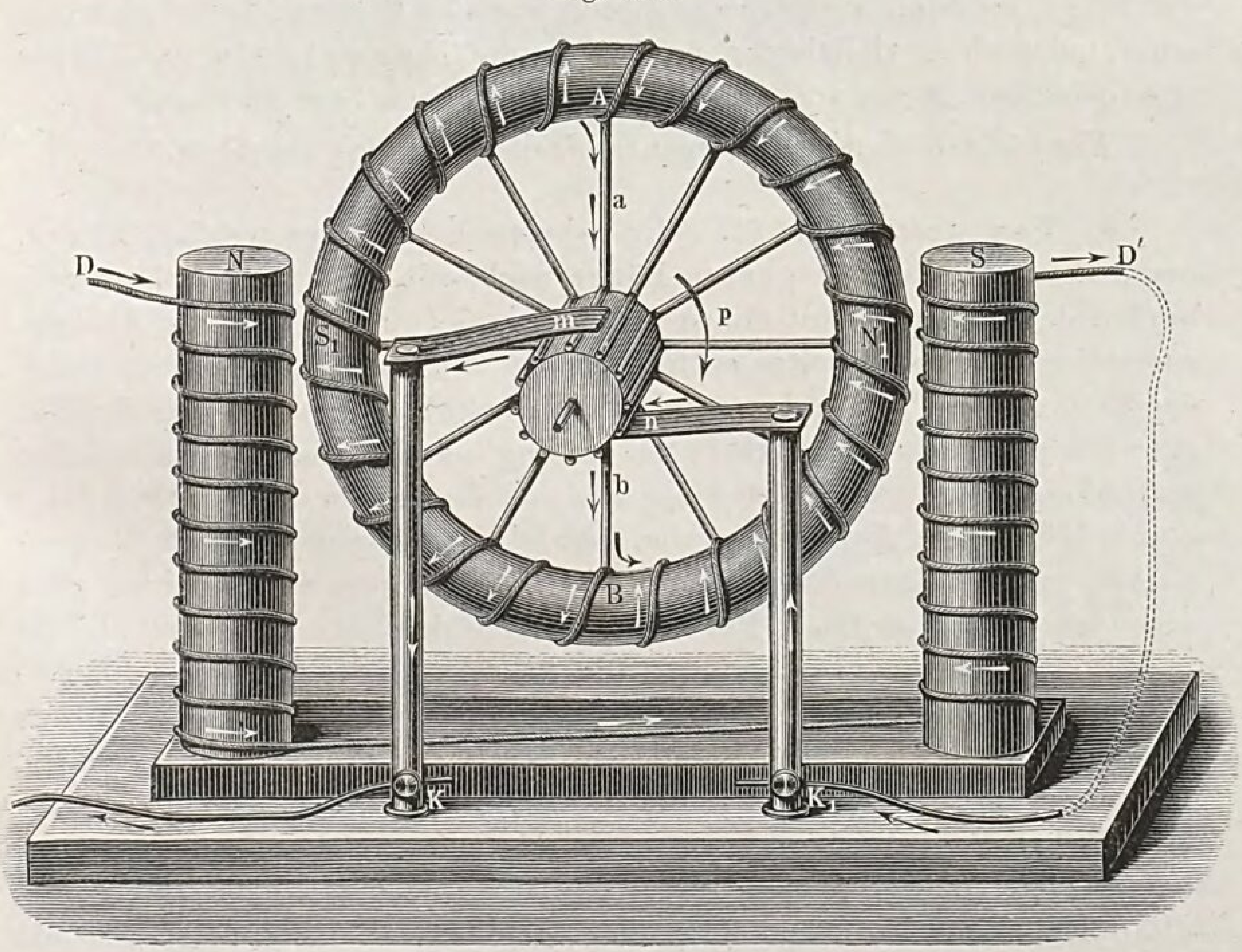


Fig. 630.



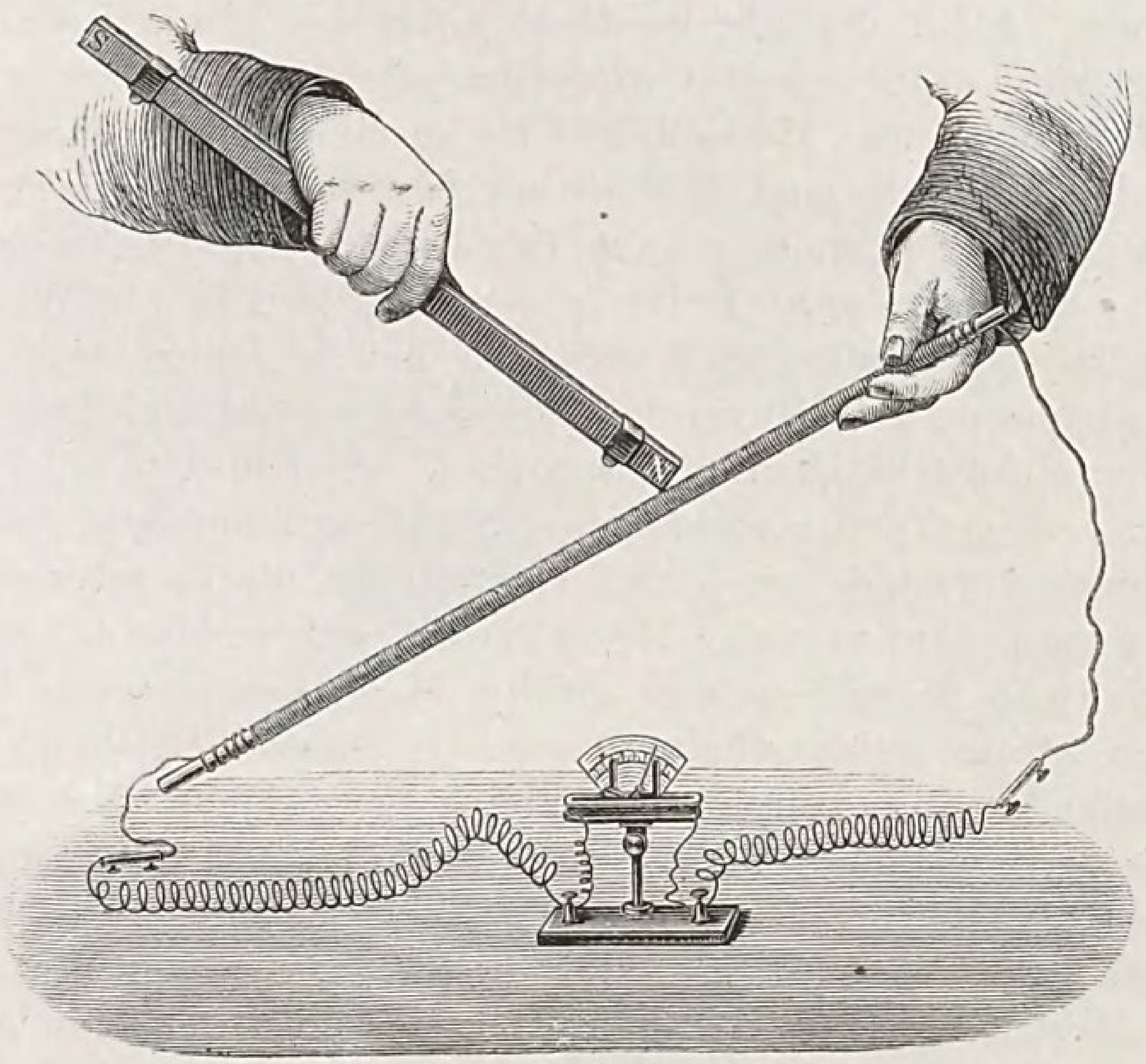
beiden Indifferenzpunkten A und B. Da aber bei rotirendem Ringe diese Indifferenzpunkte mit rotiren, so ist es schwierig, die daselbst ein- und austretenden Ströme zu sammeln. Es erscheint daher vortheilhaft, den Magnetring festzuhalten und dafür die Spirale im entgegengesetzten Sinne, also im Sinne des Pfeils p rotiren zu lassen. Man ersieht dann sofort aus der Figur, wie die aus der rechts- und linksseitigen Spirale nach oben sich ergiessenden positiven Ströme bei A vereinigt, und durch die daselbst an die Spirale angelöthete leitende Speiche der Axe des Rades zugeführt werden, wo sie von dem bürstenartig geformten Stromsammler m aufgenommen und der Klemme k zugeführt werden. Die entgegen den Pfeilen strömende negative Elektricität wird in B gesammelt, über die Speiche b der Drahtbürste n und von dort der Klemme K_1 zugeführt. Wäre also AB ein permanenter Stahlmagnetring und wäre es ausführbar, denselben innerhalb der über ihn hinweg rotirenden Drahtschleifen in seiner Lage festzuhalten, so wäre die Maschine fertig; ihre Pole wären die Klemmen K und K_1. In der That hat Kravogl, wie wir in §. 154 gezeigt haben, dieses Festhalten des Magnets dadurch erreicht, dass er nur ein Segment des Ringes anwendete und dasselbe durch seine eigene Schwere seine Stellung behaupten liess. So sinnreich diese Idee ist, so war doch der von Pacinotti eingeschlagene Weg noch ungleich genialer und einfacher. Pacinotti stellte sich nämlich die Frage, ob denn wirklich die Eisenmasse des Ringes selbst feststehen muss, oder ob es vielleicht genügt, dass die Magnetpole des Ringes stehen bleiben, wenn auch die Eisenmasse sich bewegt.

Wir können dies durch einen einfachen Versuch erproben.

4. Versuch. Fig. 631. Wir nehmen eine Stange weichen Eisens, umwickeln dieselbe der ganzen Länge nach mit isolirtem Drahte, verbinden dessen Enden mit einem Galvanoskop (welches bei der Ausführung dieser Versuche weiter entfernt stehen muss, als in der Figur, damit der Magnet nicht direct darauf einwirken kann) und führen nun den Pol eines Stahlmagnets rasch dem Stabe entlang, oder wir halten den Pol fest und führen den umwickelten Stab rasch an demselben nahe vorbei. Der durch Influenz in dem Eisenstabe entwickelte entgegengesetzte Magnetismus wandert dann durch die Spirale, beziehungsweise die Spirale geht über den hervorgerufenen Pol hinweg, ohne dass das Eisen der Spirale gegenüber in Bewegung kommt. Die Ausschläge des Galvanoskops zeigen uns an, dass der Inductionsstrom ebenso entsteht, wie wenn das Eisen sammt seinem Magnetpol sich durch die Spirale bewegt hätte. Dabei übt ausserdem noch der Pol des äusseren Magnetstabes direct eine strominducirende Wirkung auf die Spirale aus, welche die andere noch unterstützt und welche man für sich allein beobachten kann, wenn man die Spirale ohne Eisenkern anwendet. Dadurch erleichtert sich also die Construction des Apparates Fig. 630. Wir ersetzen den Stahlmagnetring AB durch einen Ring weichen Eisens, welchen wir durch Anbrin-

gung zweier dauernder Magnetpole in N und S durch Influenz in einen Magnet mit den Polen in N_1 und S_1 verwandeln. Wenn nun Spirale

Fig. 631.



und Eisenring zusammen rotiren, so bleiben doch die Pole N_1 S_1 an ihrer Stelle und induciren in der darüber weggehenden Spirale die Inductionsströme. Die Pole N und S können nun ebensowohl einem permanenten Stahlmagnete, als auch einem Elektromagnete angehören. Im letzteren Falle hätten wir bei D den positiven, bei D' den negativen Pol einer galvanischen Kette anzulegen, worauf dann beim Drehen in der Richtung des Pfeiles p K als der positive und K_1 als der negative Pol des Inductionsstromes zu fungiren beginnen.

Jetzt haben wir nur noch einen Schritt zu machen, um den Apparat auf die höchste Stufe der Entwickelung zu bringen. Statt den Strom einer galvanischen Batterie bei D zu- und bei D' abzuführen, benutzen wir den von der Maschine selbst erzeugten Inductionsstrom, um mittelst desselben den Elektromagnet $N S$ magnetisch zu erhalten. Zu diesem Zwecke haben wir nur zwischen D' und K_1, sowie zwischen D und K leitende Verbindungen herzustellen. Haben wir D' mit K_1 ein für allemal verbunden, so sind also jetzt D und K der negative und positive Pol der Maschine.

Dagegen könnte nun der Einwand erhoben werden, dass der Magnet $N S$ vorher vorhanden sein müsse, damit dann der Strom mit den Polen K und K_1 entstehe, dass man daher nicht erst mittelst des letzteren Stromes den Magnet $N S$ erzeugen könne. Allein eine einfache Ueberlegung lehrt, dass man trotzdem ohne Hülfsstrom den Apparat in

Wirksamkeit setzen könne. Ist nämlich auch nur eine Spur Magnetismus in dem Schenkel NS zurückgeblieben, so entsteht kein Drehen des Ringes, in dem allseits geschlossenen Stromleiter zunächst ein sehr schwacher Strom. Allein derselbe verstärkt sofort den Magnetismus der Pole NS und wird dadurch selbst wiederum stärker. So steigern sich nun gegenseitig Strom und Magnetismus bis zu einer Gränze hinauf, welche eintritt, indem der Magnet NS bis zur Sättigung magnetisirt ist.

Das eben aus einander gesetzte Princip wird das dynamo-elektrische oder Siemens'sche Princip genannt, weil es von W. Siemens zuerst, nämlich im Jahre 1866, erfunden und im Januar 1867 der Berliner Akademie mitgetheilt wurde. Etwas später hat dann auch Wheatstone denselben Gedanken ausgesprochen. Apparate, welche ohne Anwendung von im Voraus vorhandenen Stahlmagneten oder Elektromagneten durch Aufwand von Arbeit elektrischen Strom erzeugen, heisst man dynamo-elektrische Maschinen, während bei den magneto-elektrischen Maschinen der nöthige Magnetismus nicht durch den erzeugten Strom selbst erhalten, sondern anderweitig beschafft wird. Doch dürfen wir uns durch diese üblich gewordene, aber nicht ganz consequente Bezeichnung nicht zu der irrthümlichen Auffassung verleiten lassen, als ob bei den magneto-elektrischen Maschinen die Elektricität auf Kosten des Magnetismus erhalten würde, im Gegensatz zu den dynamo-elektrischen, wo sie auf Kosten der aufgewendeten Arbeit erhalten wird. In beiden Maschinengattungen wird Elektricität auf Kosten der aufgewendeten Arbeit erzeugt; in den „magneto-elektrischen" geschieht es mit Hülfe voraus vorhandener, bei den dynamo-elektrischen mit Hülfe selbst erzeugter Magnete. Streng genommen sind also beiderlei Maschinen „dynamo-elektrische".

Das dynamo-elektrische Princip wurde zuerst von Siemens, Wheatstone und Ladd an Maschinen angewendet, welche auf dem Siemens'schen Inductor beruhen, bei welchem also der Magnetismus des rotirenden Eisens fortwährend wechselt und folglich der Strom, strenge genommen, kein constanter ist.

Die Anwendung des Siemens'schen Princips auf einen dynamo-elektrischen Apparat mit einem Elektromagnet von constanter Polarität, bei welchem ein wirklich constanter Strom erzielt wurde, geschah meines Wissens zuerst im Februar 1870 bei meinen diesbezüglichen Versuchen mit dem Kravogl'schen Motor (S. 519). Im Jahre 1871 erfolgte dann die Anwendung auf die Pacinotti-Gramme'sche Maschine durch Gramme.

199 **Die magneto-elektrischen und dynamo-elektrischen Maschinen von Gramme, Schuckert und Edelmann.** Wir wollen nun zunächst die Construction der von Gramme gebauten magneto-elektrischen und dynamo-elektrischen Maschinen näher kennen lernen. Der Hauptbestandtheil dieser Apparate ist der Pacinotti'sche

Ring, dessen Bauart Gramme wesentlich verbessert hat. Den massiven Eisenkern ersetzte Gramme aus den im §. 188 erörterten Gründen durch ein Bündel von Eisendrähten. Die Fig. 632 zeigt einen umwickelten Ring aus Eisendrähten in zerlegtem Zustande. Die rechtwinklig abgebogenen kupfernen Leitungsstücke RR haben die Bedeutung der Speichen in Fig. 630; diese Leitungsstücke sind unter einander und von dem Ring durch das Holzstück H isolirt, dagegen mit den einzelnen Abtheilungen der Drahtspirale in der aus der Figur ersichtlichen Weise verbunden.

Fig. 632.

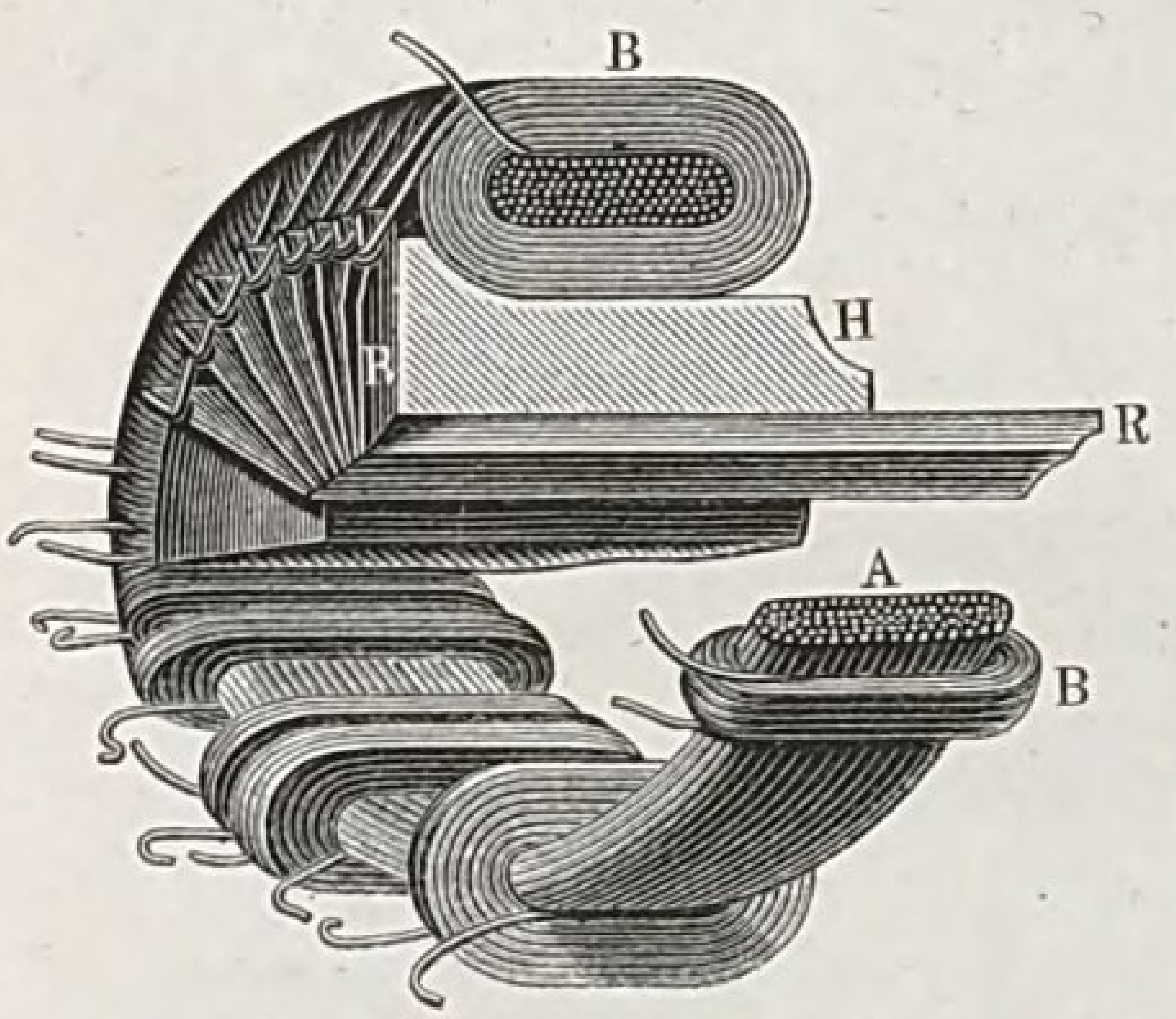
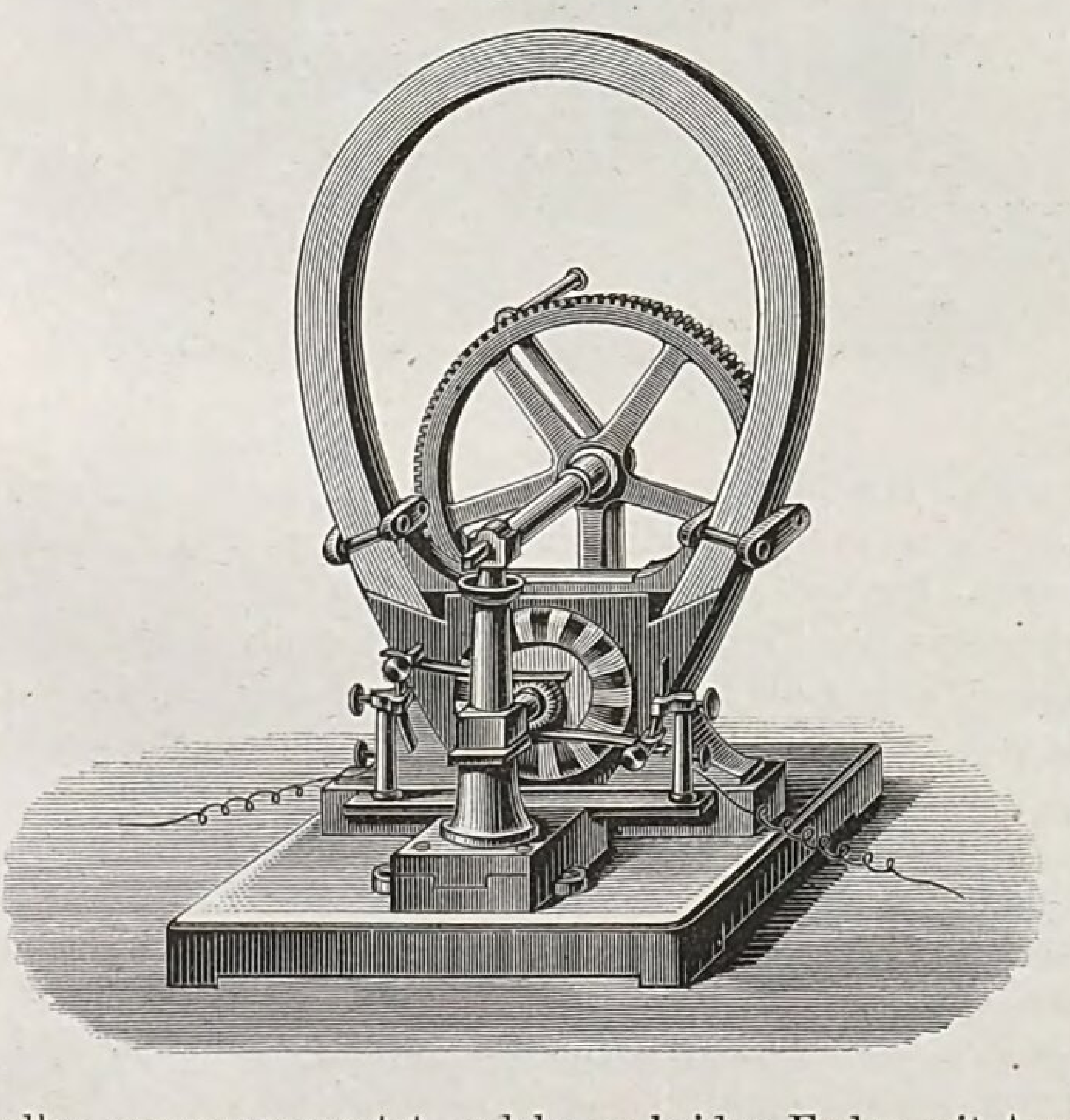


Fig. 633 zeigt eine magneto-elektrische Maschine von Gramme, als deren Magnet ein sogenannter Blättermagnet von Jamin (§. 8, S. 16) fungirt. Derselbe ist aus vielen

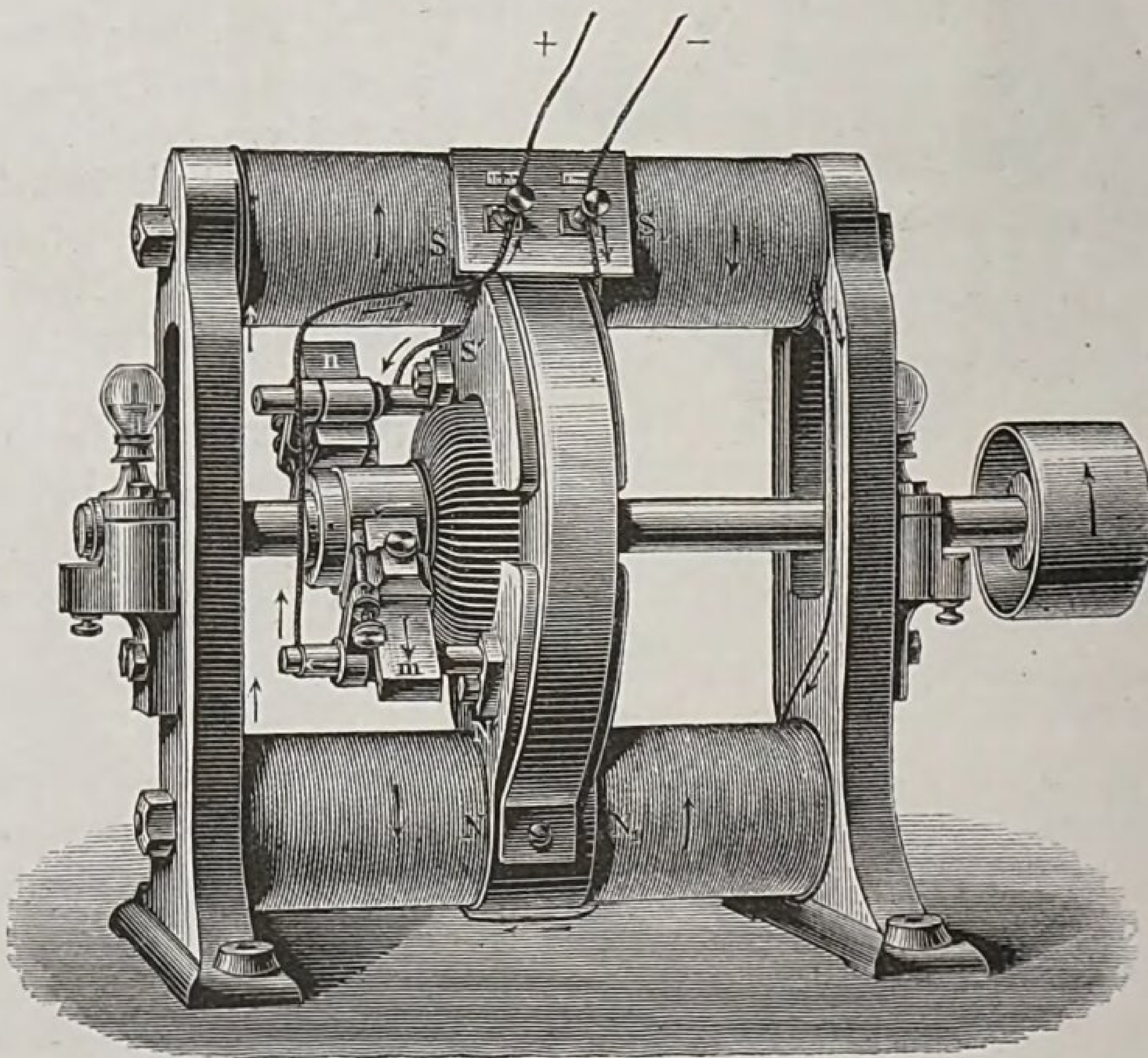
Fig. 633.



Stahllamellen zusammengesetzt, welche an beiden Enden mit Armaturen aus weichem Eisen versehen sind, welche letzteren den rotirenden Ring

von links und rechts eng umschliessen. Die übrigen Theile der Figur sind nach Erklärung der schematischen Fig. 630 leicht zu erkennen. Ein solcher Apparat mittelst Kurbel und Zahnrad mit der Hand in Betrieb gesetzt, liefert einen Strom, der mit dem von acht Bunsen'schen Elementen äquivalent ist und in physikalischen Laboratorien sehr bequeme Anwendung findet. Fig. 634 zeigt eine Gramme'sche dynamo-

Fig. 634.



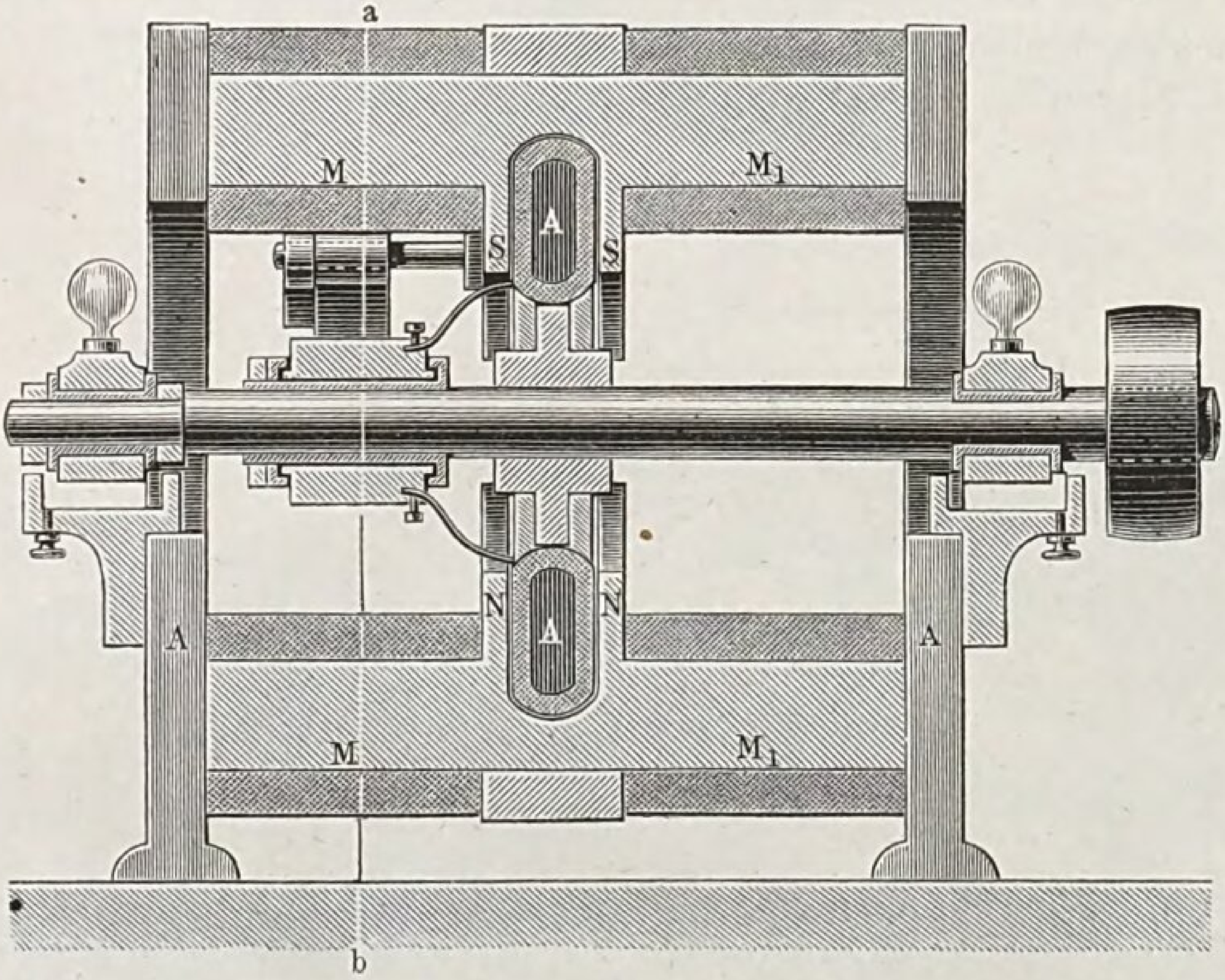
elektrische Maschine in der von S. Schuckert in Nürnberg ausgeführten Form in perspectivischer Zeichnung, Fig. 635 dieselbe im Längsschnitt, Fig. 636 im Querschnitt nach ab.

Gegenüber den Figuren 630 und 633 ist die Anordnung hier um 90^0 verdreht, indem die Pole des (doppelt vorhandenen) Elektromagnets statt im horizontalen Durchmesser im verticalen angebracht sind, weshalb auch die Auflagestellen der Stromableiter m, n nicht oben und unten, sondern links und rechts erscheinen. Ausserdem ist die Rotationsrichtung die umgekehrte.

Der positive Strom geht von der mit — bezeichneten Klemmschraube zuerst auf das Gewinde, welches den Südpol S_1 erzeugt, dann hinunter zum Schenkel mit dem Pole N_1, dann querüber zum Schenkel mit dem Pole N des anderen Elektromagnets, dann längs des in der Figur verdeckten Drahtes hinauf zum Schenkel mit dem Pole S, von dort rückwärts hinab zum Stromableiter n, von diesem auf die Leitung längs der

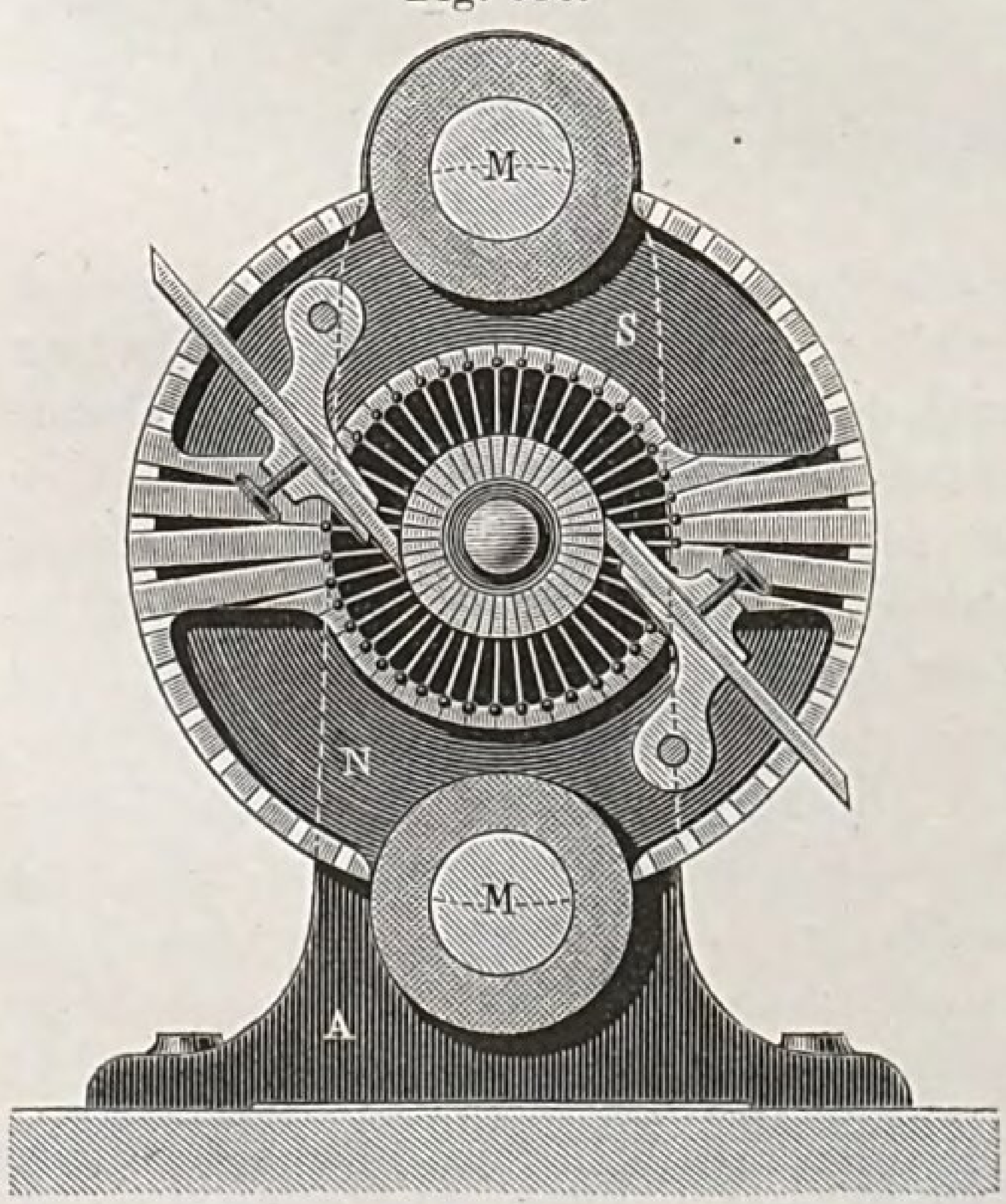
Axe in den Ring hinein, an der Vorderseite der Axe wieder heraus auf den Stromleiter *m* und von dort zur Klemmschraube +, welche als posi-

Fig. 635.



tiver Pol der Maschine fungirt. *S'* und *N'* sind eiserne Fortsätze der Pole *S*, *S* und *N*, *N*, die den Ring bogenförmig oben und unten umfassen. Der Längsschnitt ist hiernach von selbst verständlich, er zeigt, dass der Eisenkern des Ringes aus gegenseitig isolirten Eisenblechstücken zusammengesetzt und nicht runden Querschnitts, sondern als plattgedrückter Ring construirt ist, welcher von aussen und von seitwärts der Influenz der umgebenden Pole ausgesetzt erscheint, was für die grössere Ausnutzung der Drahtwindungen nur vortheilhaft sein kann.

Fig. 636.

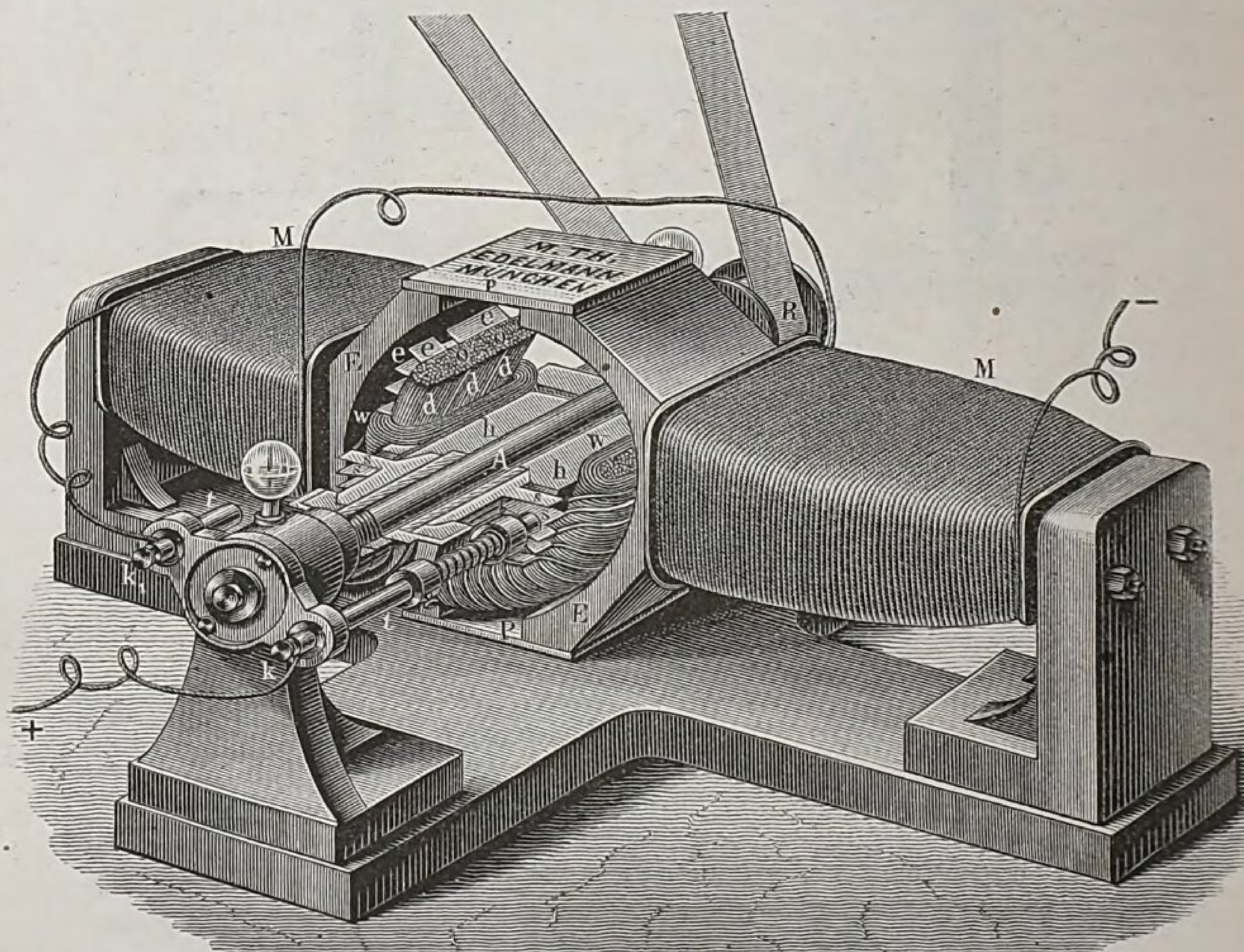


Edelmann's dynamo-elektrische Maschine, welche in Fig. 637 (a. f. S.) in eröffnetem Zustande perspectivisch abgebildet erscheint,

unterscheidet sich nicht im Princip, wohl aber in der Anordnung der einzelnen Theile von der Gramme'schen Maschine.

Das gusseiserne Gestell trägt die beiden horizontal gestellten Schenkel des Elektromagneten *MM* mit den daran gesetzten eisernen Armaturen

Fig. 637.



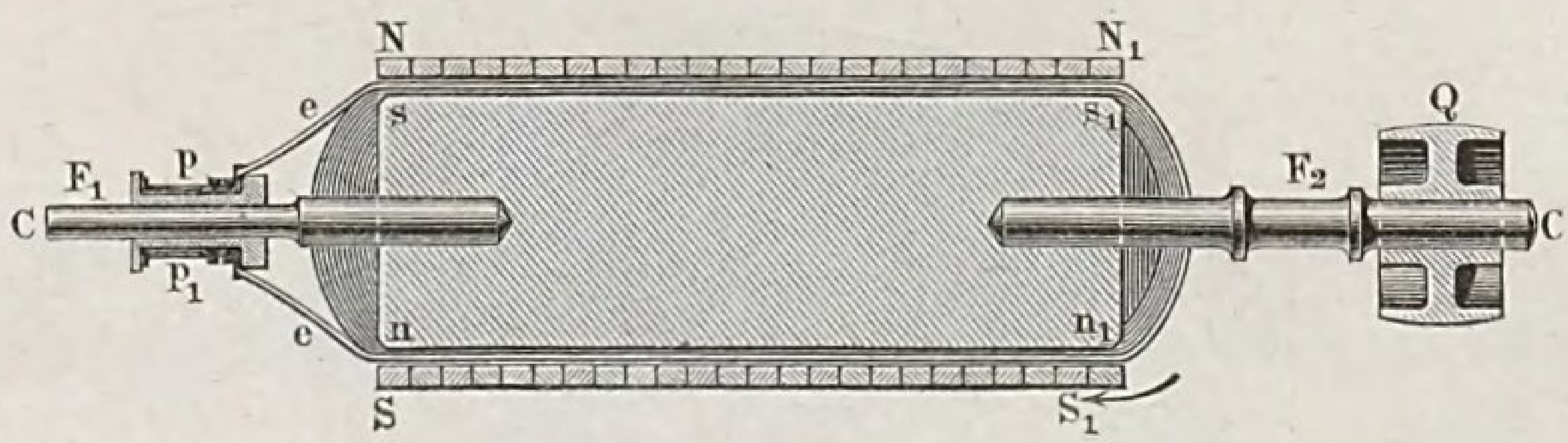
EE, welche oben und unten durch Messingplatten *PP* verbunden sind. Die Elektromagnete sind so bewickelt, dass die Anzahl der Windungen gegen die Pole zu grösser ist und zwar ist die Vertheilung der Drahtmasse eine derartig berechnete, dass bei gegebener Drahtlänge die Wirkung die grösstmögliche ist. Der rotirende Ring schliesst sich mit seiner cylinderförmigen Form den eisernen Armaturen nahe an. Er enthält einen Eisenkern aus Drahtbündeln *d*, *d*, an welche in radialer Richtung Fortsätze aus Eisenblech *e*, *e* angesetzt sind, zwischen denen die Windungen des Inductionsdrahtes *W*, *W* aufgewickelt sind. Diese Eisenfortsätze, welche den äusseren Polen sehr nahe kommen, vermitteln eine stärkere Magnetisirung des Eisenkerns. *h*, *h* ist ein isolirender Holzcylinder, welcher den Ring von der Axe *A* trennt. Durch den Ringkörper hindurch führen von innen nach aussen Canäle *o*, *o*, welche mit entsprechenden Bohrungen im Holzcylinder communiciren. Durch diese Canäle wird während der Rotation durch Centrifugalkraft Luft getrieben,

wodurch erreicht wird, dass die durch den Strom erwärmte Drahtmasse sich abkühlt. s, s sind die Ableiter des Stromes vom Ring zu den Metallstreifen, auf welchen die Contactbürsten aufliegen (die letzteren sind nicht sichtbar). Die Klemme k bildet den positiven Pol der Maschine, die Klemme k_1 ist mit den Windungen der Elektromagnete verbunden, deren anderes Ende den negativen Pol bildet. Die Träger t, t dieser Klemmen und zugleich der Contactbürsten sind selbstverständlich (durch Hartgummieinlagen) von einander isolirt.

Die Riemenscheibe R vermittelt die Uebertragung der Arbeitskraft auf die Maschine.

Die Siemens-Halske'schen magneto-elektrischen und dynamo-elektrischen Trommelmaschinen nach dem System von Fr. v. Hefner-Alteneck unterscheiden sich durch die Art des Inductors, welcher statt in Form eines umwickelten Ringes wie bei den vorigen Maschinen, in Form einer bewickelten Trommel zur Anwendung kommt. Wir müssen vor allem das Eigenthümliche dieses Bestandtheils kennen lernen. Fig. 638 stellt eine solche Trommel ein- 200

Fig. 638.



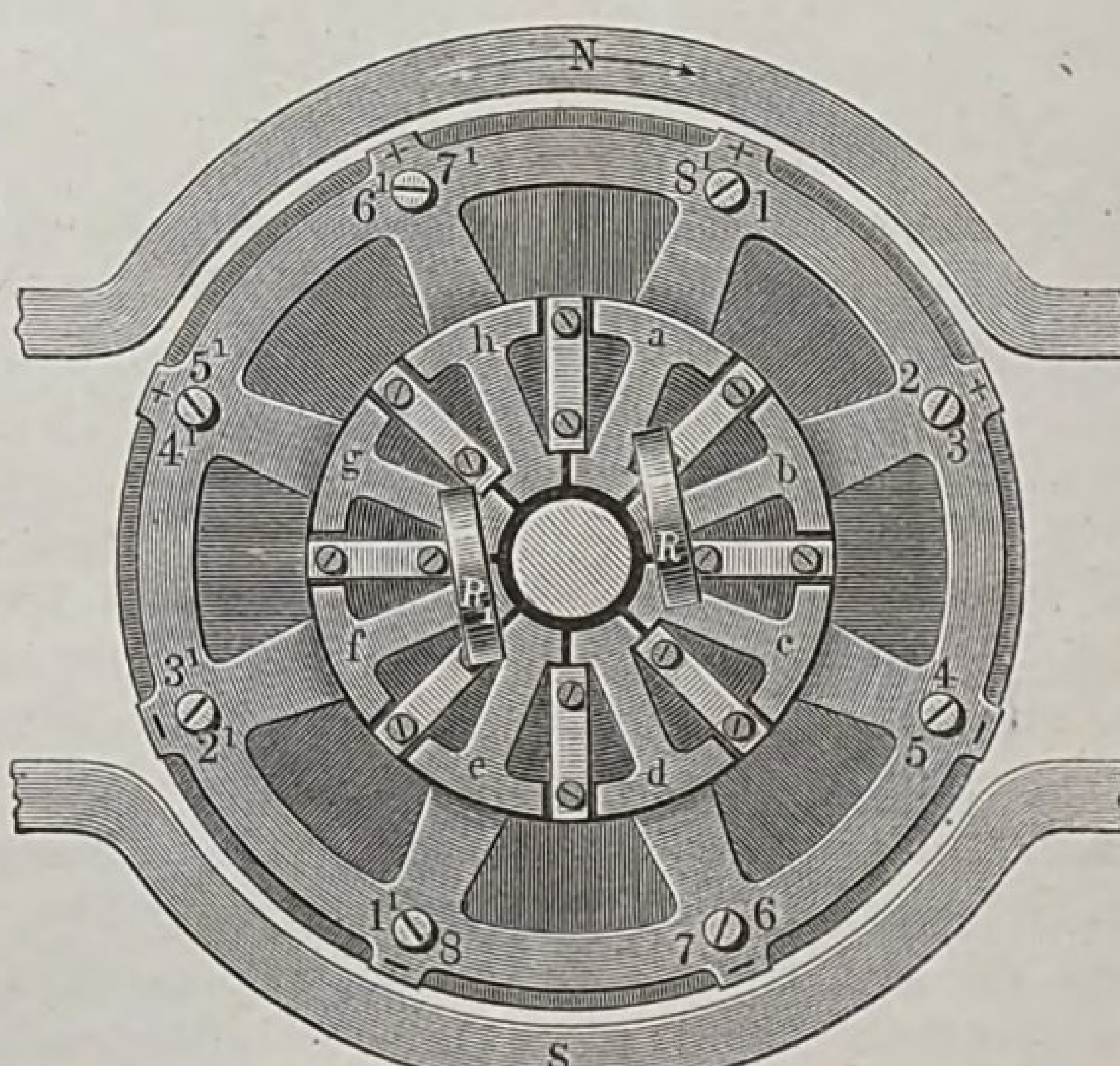
fachster Art vor. Zwischen einer Reihe von Nordpolen $N N_1$ und einer Reihe von Südpolen $S S_1$ ist der eiserne Cylinder $s\, s_1\, n_1\, n$ sammt seiner Axe $C\, C$ in den Lagern F_1 und F_2 drehbar. Durch Influenz wird dabei dieser Cylinder zu einem Quermagnet, der nach oben seinen Südpol $s\, s_1$, nach unten seinen Nordpol $n\, n_1$ erhält. Die Lage dieser Pole bleibt natürlich trotz der Rotation eine constante. Um den Cylinder sind nun parallel seinen Hauptschnitten die Drahtwindungen gelegt, so dass also bei der Rotation der grösste Theil der Drahtmasse durch den Zwischenraum zwischen den Reihen entgegengesetzter Pole hindurchgehen muss. Die Polflächen $N N_1$ und $S S_1$, welche hier im Verticaldurchschnitt durch die Cylinderaxe erscheinen, haben bogenförmige Verlängerungen in der Richtung der Peripherie des Cylinders, so zwar, dass jede der Polflächen etwa ein Drittel der Mantelfläche des Cylinders bedeckt. Die Drahtwindungen sind nun in mehreren (8 bis 28 und mehr) Abtheilungen derart aufgewickelt, dass jede Abtheilung nahezu in einem Hauptschnitte, also ungefähr in Form eines Rechtecks den Cylinder in vielen Windungen umzieht. Die beiden Enden jeder solchen Drahtlage sind mit zwei isolirten Theilen eines Commutators verbunden. Eine einfache Ueber-

legung lässt uns einsehen, dass der bei der Rotation in den Drahtlagen zwischen $N N_1$ und $s s_1$ entstehende Inductionsstrom vom Beschauer aus gesehen, die entgegengesetzte Richtung haben muss mit jenem Inductionsstrom, der gleichzeitig in den Drahtlagen zwischen $S S_1$ und $n n_1$ entsteht. Eben deshalb müssen sich aber diese beiden Inductionsströme längs der ganzen Drahtleitung einer Abtheilung im selben Sinne addiren.

Dagegen wechselt dieser Strom im Ganzen seine Richtung zweimal bei jeder ganzen Umdrehung.

Solcher Drahtabtheilungen sind nun aber, wie erwähnt, in mehrfacher Anzahl, wir wollen annehmen in der Zahl acht, vorhanden. Jede der folgenden Abtheilungen ist in einer Ebene auf den Cylinder gewickelt, welche mit der Ebene der Nachbarwindungen einen Winkel von $\frac{1}{8}$ Kreis einschliesst. Da immer mehrere dieser Drahtabtheilungen gleichzeitig zwischen die Polflächen gelangen, so entstehen in mehreren derselben gleichzeitig Inductionsströme, wenn auch von ungleicher Stärke, welche sämmtlich gesammelt und in gleiche Richtung gebracht werden müssen, wozu eben der Commutator dient. Derselbe ist in Fig. 639 abgebildet. Fig. 640 giebt ein Schema der Drahtverbindungen mit dem

Fig. 639.

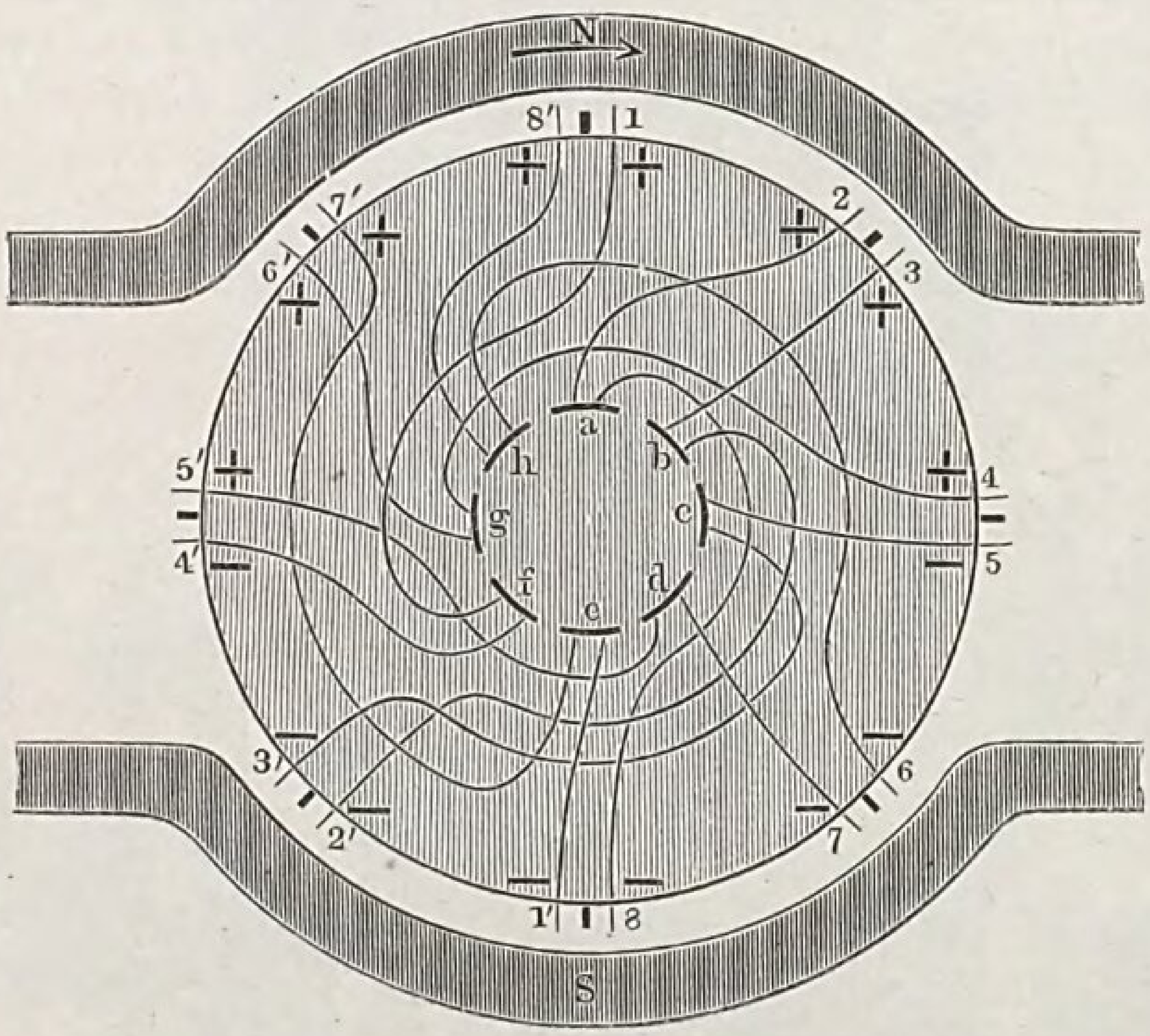


Commutator, welches etwas complicirt aussieht, aber doch leicht zu verstehen ist. Man fasse nur folgende Punkte der Fig. 640 ins Auge.

N und S stellen die äusseren Pole vor; der mit den Ziffern besetzte Kreis entspricht der Mantelfläche des rotirenden Cylinders. Der innerste in acht Segmente a bis h zertheilte Kreis stellt die von einander isolirten metallischen Theile des Commutators vor. Von diesen Theilen sind stets diejenigen, welche die Lage g und c innehaben, mit den Contactrollen oder Contactbürsten in Verbindung, welche, wie bei der Gramme'schen

Maschine, den resultirenden Hauptstrom aufnehmen und abführen. Es handelt sich also darum, die sämmtlichen Drahtwindungen so zu verbin-

Fig. 640.



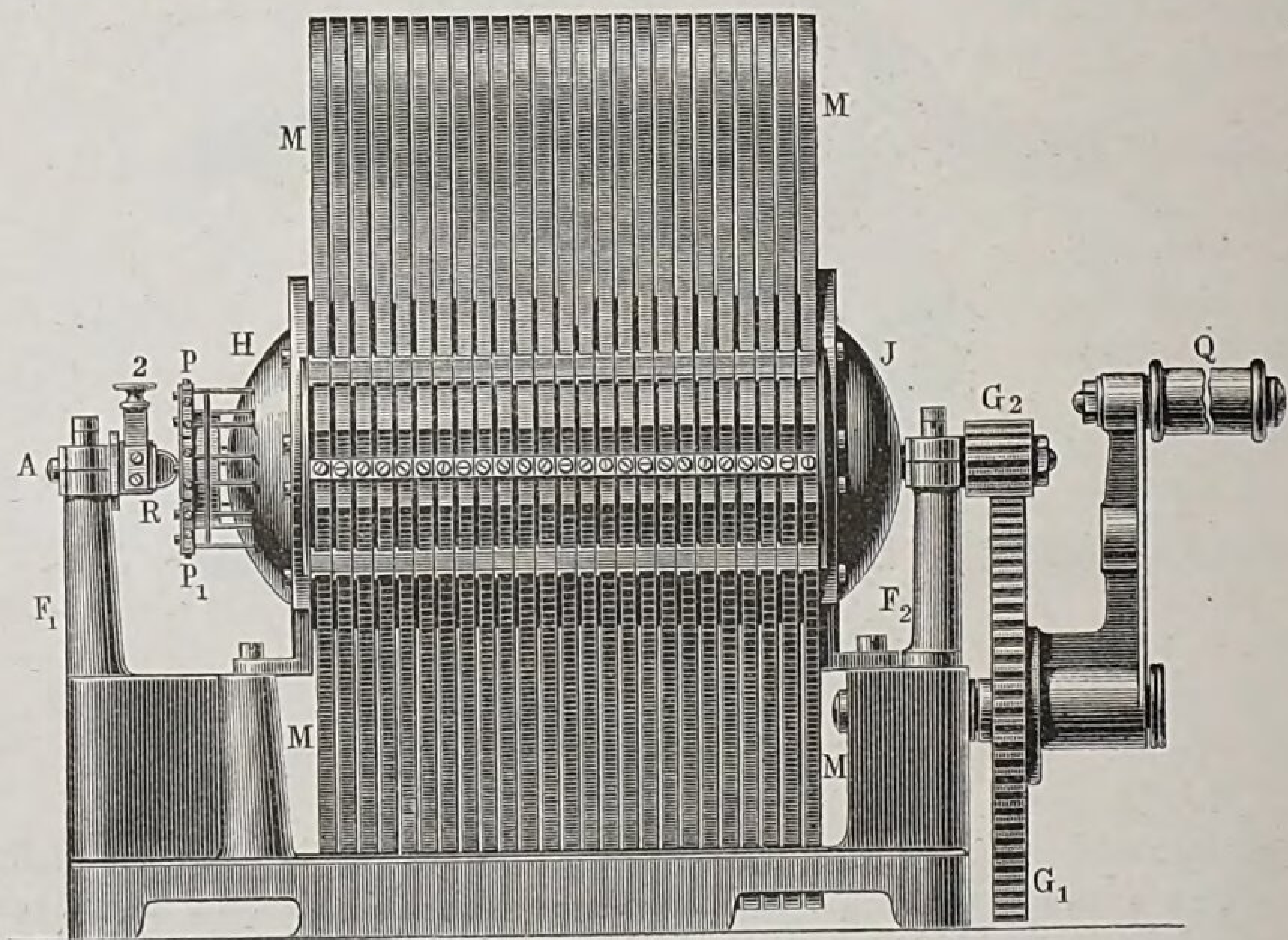
den, dass schliesslich jeder positive Einzelstrom der in *g* befindlichen Stelle des Commutators zugeführt wird, während das Endziel aller negativen Ströme die gegenüber befindliche Stelle des Commutators in *c* sein muss. Die acht Drahtparthien haben zusammen acht Enden, wo der positive Strom aus ihnen austritt, diese Enden sind mit einem + Zeichen und den Ziffern 1, 2 . . . bis 8 bezeichnet. Die anderen acht Enden, wo der negative Strom aus-, also der positive Strom eintritt, sind mit einem — Zeichen und den Ziffern 1′, 2′ . . . bis 8′ bezeichnet. Die gleichbezifferten Enden, z. B. 1 und 1′, 2 und 2′ . . . 8 und 8′, gehören ein und derselben Drahtabtheilung an. Die krummen Linien der Fig. 640 zeigen nun, wie diese Enden mit einander verbunden sind. Durch diese Verbindung wird die ganze Drahtmasse in zwei Zweige geschieden, so zwar, dass jeder dieser Zweige für sich eine continuirliche Leitung bildet, die von *c* ausgeht und an *g* endet.

Z. B. geht bei der in Fig. 640 gezeichneten Stellung der eine Zweig von *c* aus über 5 5′, *d* 7 7′, *e* 1′ 1, *f* 4′ 4 nach *g*, der andere Zweig von *c* über 3′ 3, *b* 2′ 2, *a* 8 8′, *h* 6 6′ nach *g*. Man sieht also, dass auf diese Weise die vier Ströme der einen Hälfte der Windungsabtheilungen sowie die vier Ströme der anderen Hälfte separat in gleicher Richtung gesammelt und dann die beiden Summen dem bei *g* befindlichen Commutatorstücke zugeführt werden. Dreht man die Trommel, so tritt zwar an die Stelle *g* ein anderes Commutatorstück, aber der Sachverhalt bleibt derselbe. Die bei *g* und *c* anliegenden Contactrollen oder schleifenden

Metallbürsten nehmen also, wie bei Gramme's Maschine, die sämmtlichen Inductionsströme als gleichgerichteten constanten Strom auf.

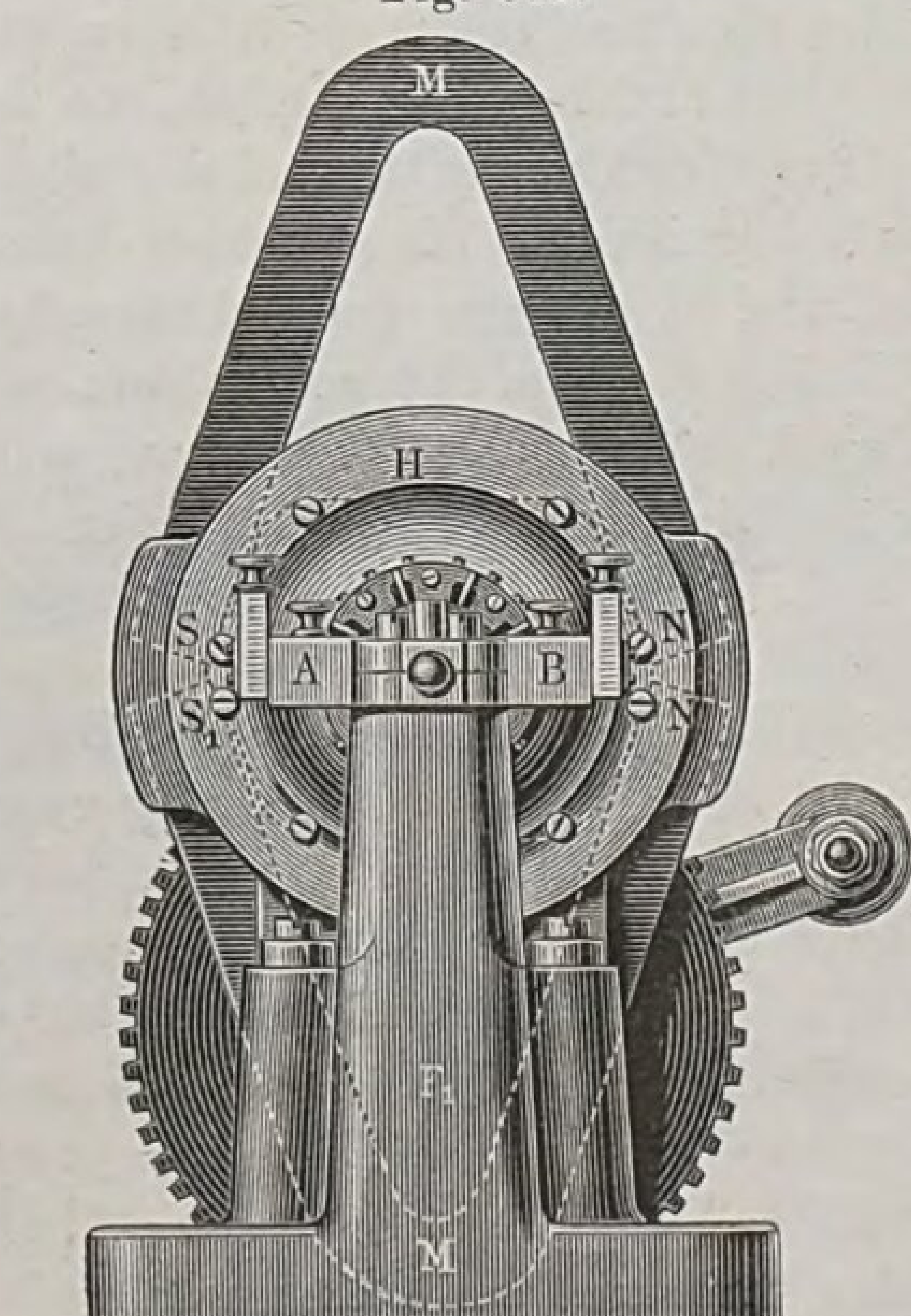
Bei den magneto-elektrischen Trommelmaschinen wird nun die eben beschriebene Trommel durch ein System von permanenten Stahlmagneten

Fig. 641.



der Inductionswirkung ausgesetzt. Fig. 641 zeigt die Seitenansicht einer solchen für Handbetrieb eingerichteten Maschine von Siemens und Halske, bei welcher 50 Stahlmagnete in zwei Reihen angeordnet sind. Fig. 642 zeigt dieselbe Maschine in der Vorderansicht. Siemens und Halske liefern ferner Maschinen mit Riemenscheibe und Schwungrad zum Betriebe durch zwei Mann. Dieselben sind, wie Figg. 643 und 644 zeigen, auf einem Tisch mit Schwungrad und zwei Kurbeln montirt und durch zweimalige Uebersetzung auf grössere Umdrehungsgeschwindigkeit eingerichtet.

Fig. 642.



Die beschriebene Maschine liefert mit einer Mannskraft betrieben, einen Strom von der elektromotorischen Kraft von acht Bunsen-Elemen-

Fig. 643.

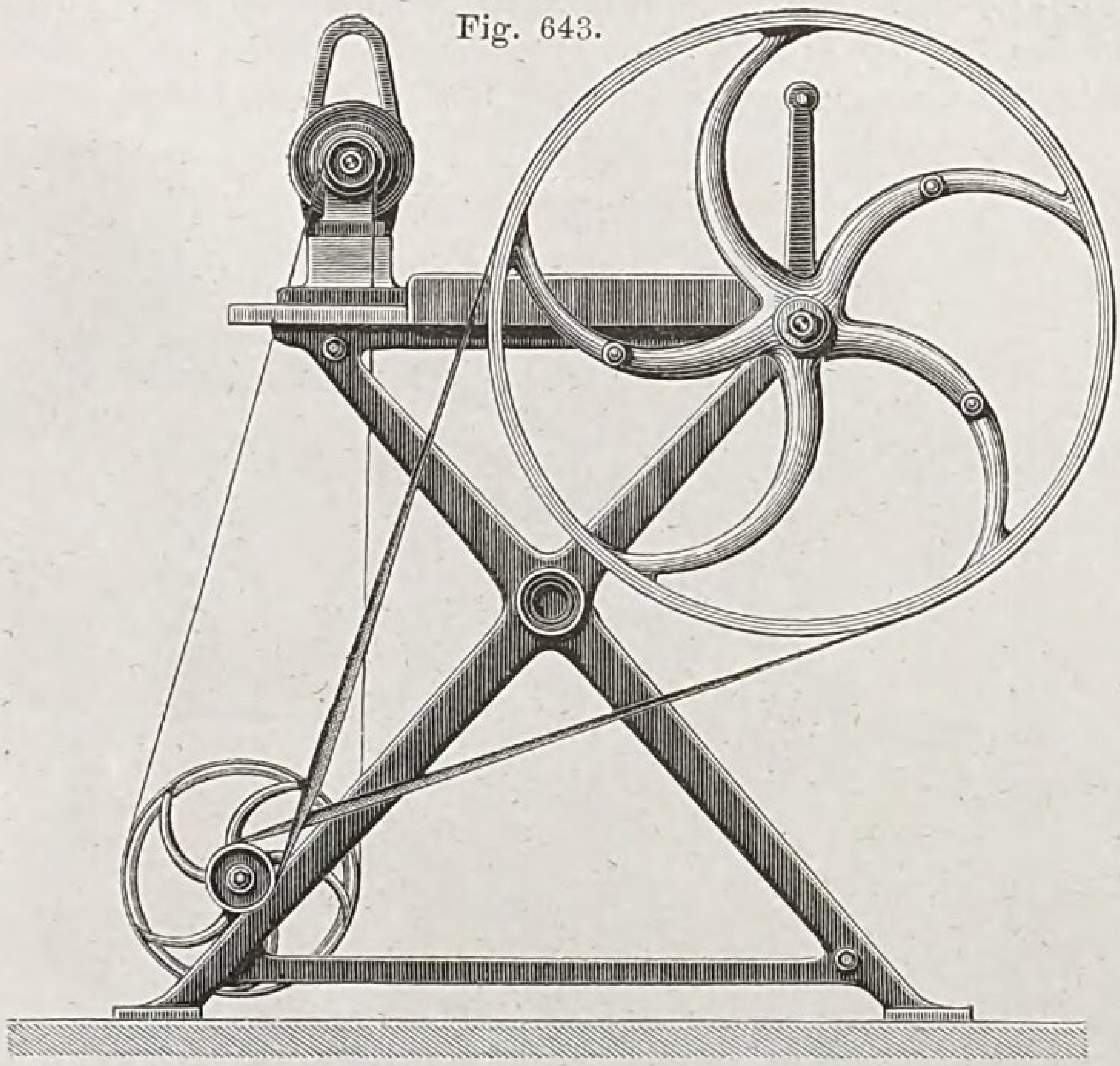
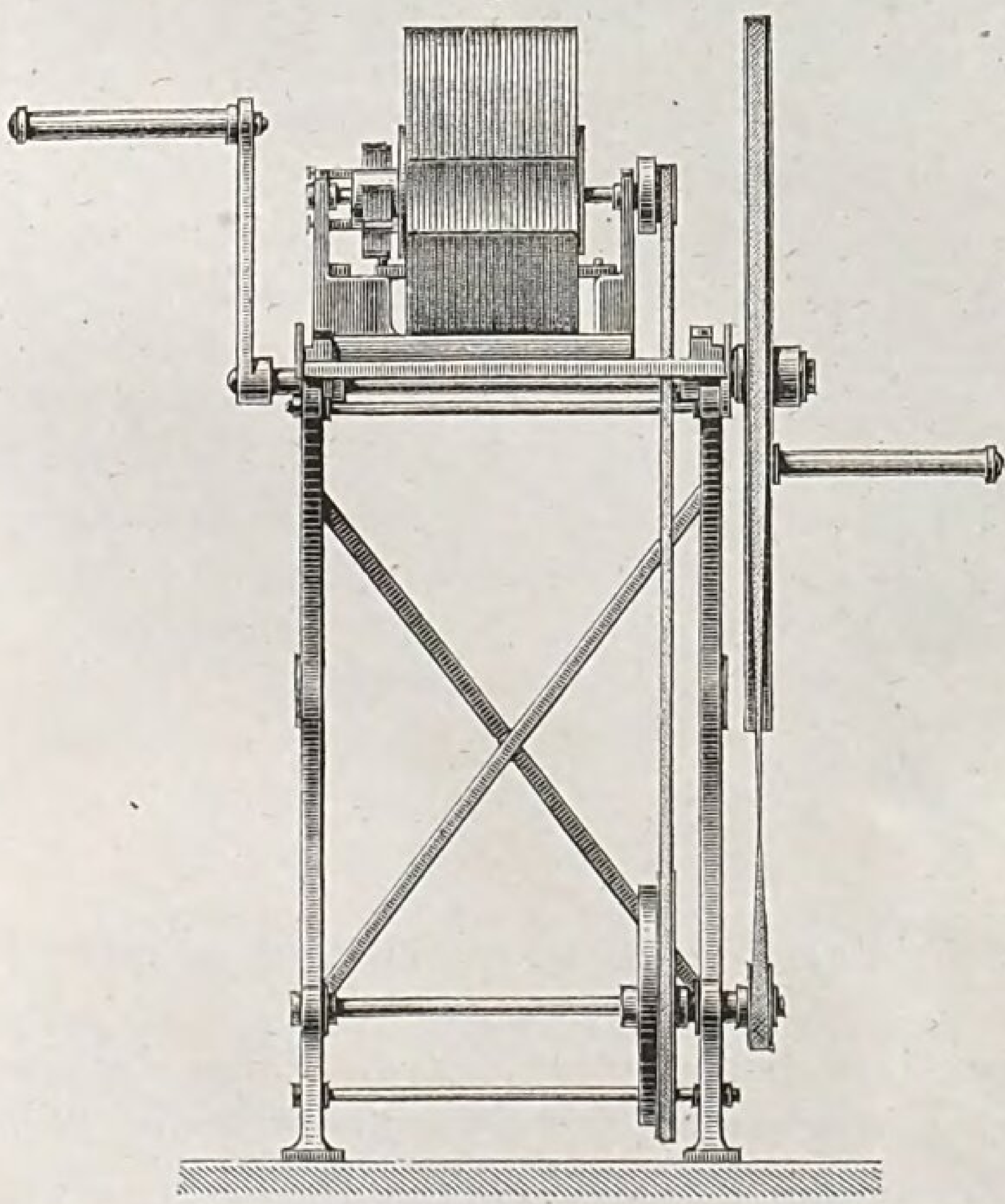


Fig. 644.



ten, und hat nur 0·5 Siem. Einh. inneren Widerstand; sie eignet sich daher für physikalische Laboratorien als Ersatz einer galvanischen Batterie für die Mehrzahl der Experimente. Von zwei bis vier Mann betrieben, reicht sie hin, um elektrisches Licht zu erzeugen. Fig. 645 endlich zeigt eine derartige Maschine für den Grossbetrieb in perspectivischer Abbildung.

Die dynamo-elektrische Trommelmaschine von Siemens-Halske unterscheidet sich von der eben beschriebenen

dadurch, dass die Stahlmagnete fehlen und dafür die eisernen Armaturen *N*, *S* der Fig. 639 als Elektromagnete in Thätigkeit kommen, indem ihre Fortsätze umwickelt sind. Ausserdem ist dieselbe so eingerichtet,

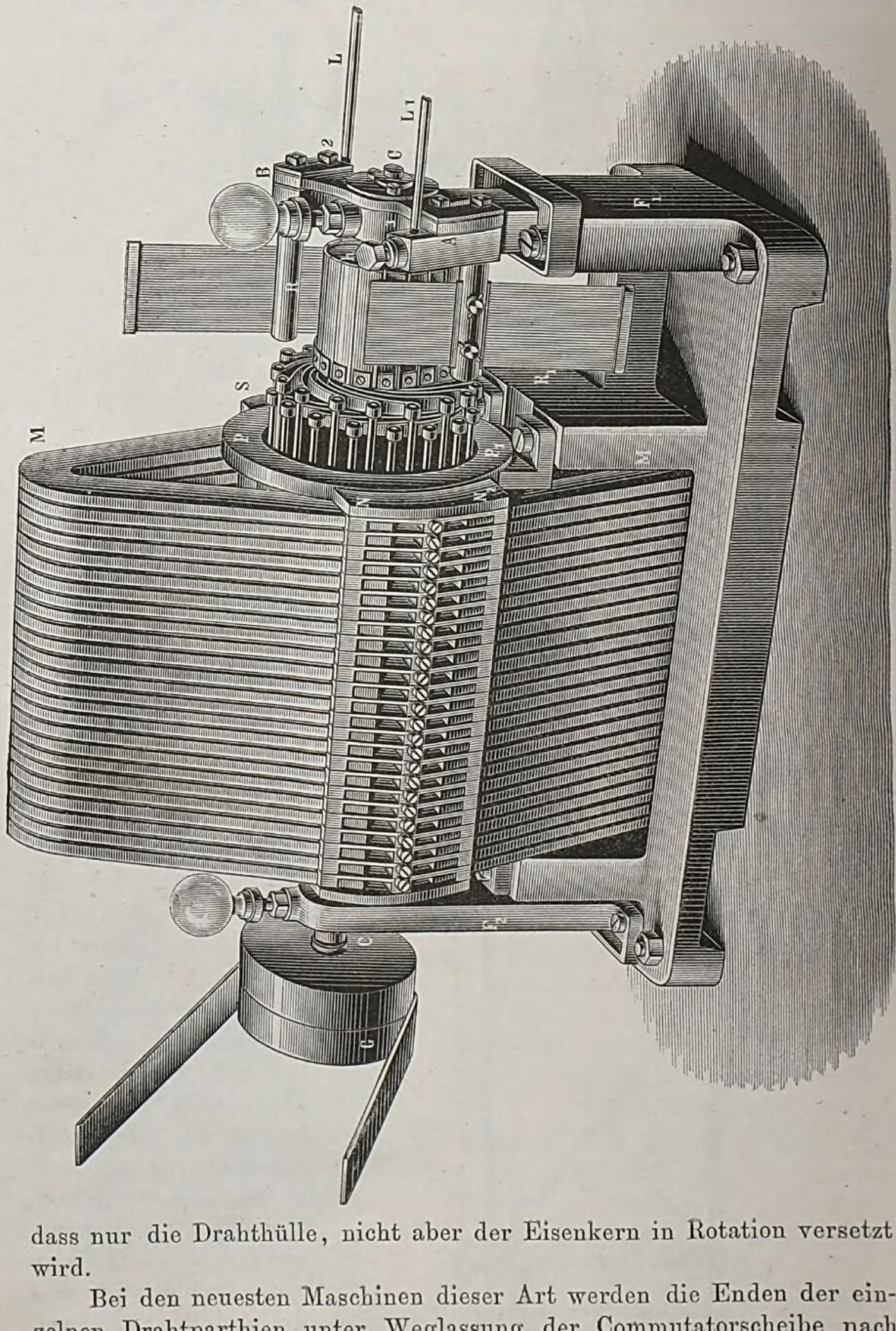


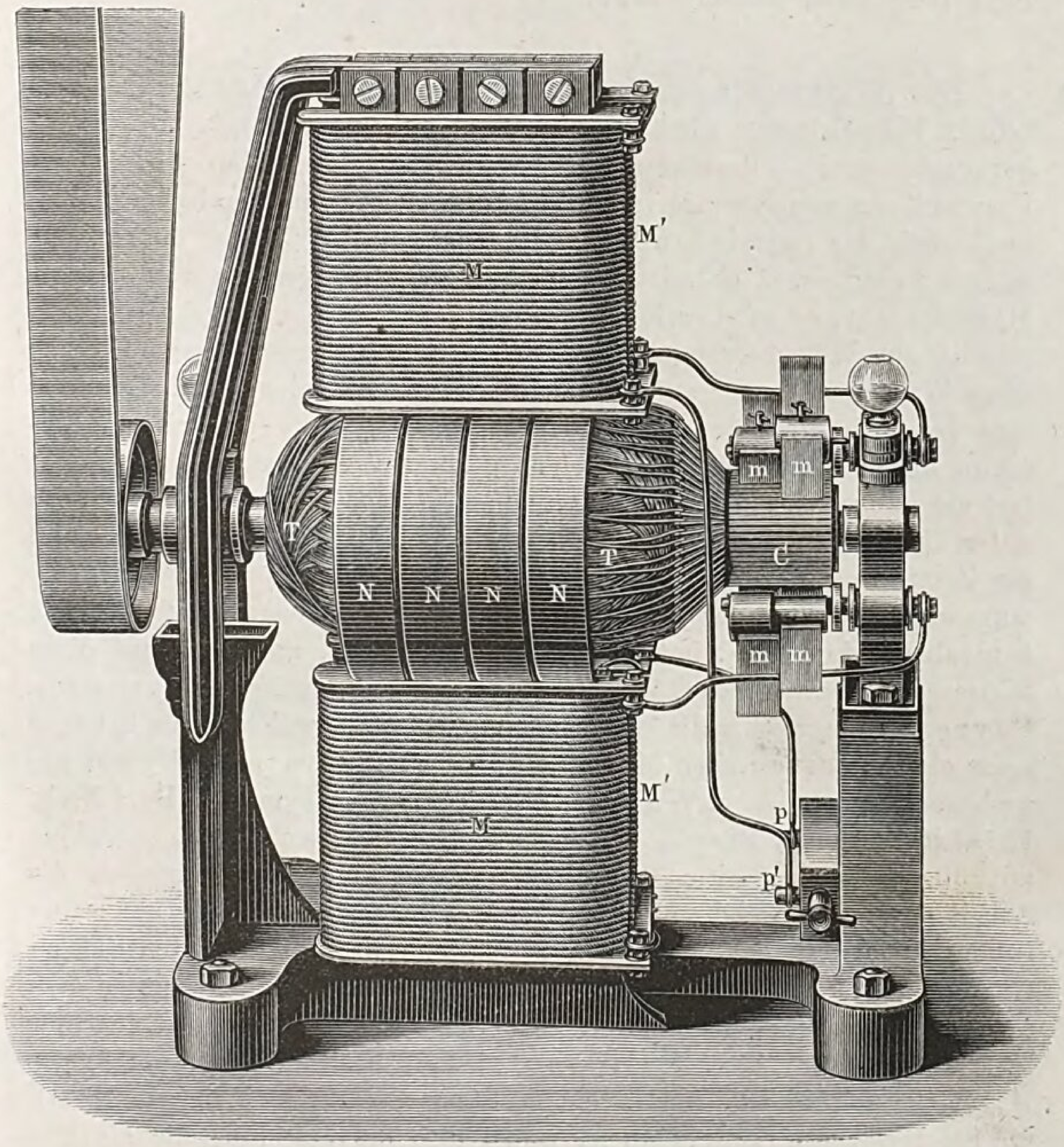
Fig. 645.

dass nur die Drahthülle, nicht aber der Eisenkern in Rotation versetzt wird.

Bei den neuesten Maschinen dieser Art werden die Enden der einzelnen Drahtparthien unter Weglassung der Commutatorscheibe nach

Art der Gramme'schen Maschine mit dem Ableiter auf der Axe verbunden und mit Contactbürsten ausgerüstet. Fig. 646 zeigt eine solche

Fig. 646.



Maschine (System D_7) in perspectivischer Seitenansicht. Die Elektromagnete M, M erzeugen die Nordpole N, N, N, N, die rückwärts stehenden, wenig sichtbaren Elektromagnete M', M' erzeugen die entsprechenden (nicht sichtbaren) Südpole. TT ist die rotirende Trommel, C ist die Axe mit den eingelegten Stromleitern, auf welchen die Contactbürsten m, m streifen, p und p' sind die Polschrauben. Aehnliche Maschinen sind noch von Lontin, Bürgin, Wallace-Farmer u. A. construirt. Ausser diesen Maschinen für gleichgerichteten Strom sind von verschiedenen Firmen (Méritens, Brush, Siemens u. Halske, Gramme) noch Wechselstrommaschinen zum Gebrauche der Jablochkoff'-

schen Kerzen (§. 121) gebaut worden, welche wir, da sie mehr technische als wissenschaftliche Bedeutung haben, hier übergehen (man sehe hierüber Schellen: „die magneto- und dynamo-elektrischen Maschinen“, Köln 1879 nebst Anhang 1880).

201 **Die Wirksamkeit der magneto- und dynamo-elektrischen Maschinen; elektrische Kraftübertragung.** Die in den vorausgegangenen Paragraphen beschriebenen Maschinen dienen zur Umwandlung von Energie in Form aufgewendeter mechanischer Arbeit in Energie des elektrischen Stromes. Verrichtet der Strom dabei keine andere Arbeit, z. B. chemische Zersetzungen, Bewegungen von Leitern, Magneten etc., so wird er innerhalb des ganzen Schliessungskreises vollständig zur Wärmeerzeugung verbraucht und es muss demnach auch diese Wärmemenge der aufgewendeten Arbeit äquivalent sein. Schliesst man demnach die Pole einer magneto- oder dynamo-elektrischen Maschine durch einen kurzen Draht von geringem Widerstande, so kommt fast die ganze Wärme in der Maschine selbst zur Entwickelung, wodurch unter Umständen die Drahtwindungen derselben bis zum Glühen und zur Zerstörung der isolirten Hülle erhitzt werden können. Dass die aufgewendete Arbeit der durch die Inductionsströme entwickelten Wärme äquivalent sein müsse, hat zuerst Joule erkannt, indem er auf diese Weise das mechanische Wärmeäquivalent zu bestimmen versuchte. Favre hat umgekehrt die Wärmemenge bestimmt, welche beim Betriebe einer elektromagnetischen Maschine durch den Strom einer Hydrokette verbraucht wird. A. v. Waltenhofen (Wien. Akadem. Ber. Bd. LXXX, 1879) hat an einer Siemens'schen magneto-elektrischen Handmaschine mit 50 Magneten (Seite 700) direct mittelst eines Dynamometers die Arbeit gemessen, welche aufgewendet werden musste, um in einem gegebenen Schliessungskreise einen Strom von bestimmter Intensität zu erzeugen resp. zu unterhalten. Dabei wurde diejenige Arbeit in Abrechnung gebracht, welche nur zur Ueberwindung der Reibung der Maschine diente. A. v. Waltenhofen fand bestätigt, dass die Arbeit A, welche nöthig ist, um in einem Stromkreise vom Widerstande W die Stromstärke J zu erzeugen, wobei also die Maschine die elektromotorische Kraft $E = J \cdot W$ annahm, gegeben ist durch die Ausdrücke

$$A = k J^2 W = k J E = k \frac{E^2}{W},$$

wobei $k = 0{\cdot}0009043$ Meterkilogramm.

Um also beim Gesammtwiderstande $= 1$ S.-E. die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elements (12·04) hervorzubringen, müsste eine Arbeit $= 0{\cdot}000904 \times (12{\cdot}04)^2 = 0{\cdot}13$ Meterkilogramm aufgewendet werden. Um die Kraft eines Bunsen'schen Elementes unter gleichen Umständen zu ersetzen, wäre demnach in runder Zahl eine Arbeit von 0·4 Meterkilogramm (per Secunde) erforderlich.

In Pferdekräften à 75 Meterkilogramm ausgedrückt, würde eine Maschine, welche bei einem Widerstande W (S. E.) eine elektromotorische Kraft von n Bunsen-Elementen zu entwickeln hätte, einen Kraftaufwand von $0{\cdot}0053 \dfrac{n^2}{w}$ erfordern.

Seite 525, Formel 10) wurde die Arbeitsfähigkeit eines Elementes von der elektromotorischen Kraft $ne = E$ bei der Stromstärke J angegeben zu $A = 0{\cdot}00088\, EJ$, was mit obiger Angabe nahe übereinstimmt. Man sieht also, dass zur Erzeugung des Stromes ebensoviel Energie aufgewendet werden muss, als dieser wieder in Form von Arbeit oder Wärme hervorbringen kann. In der Praxis muss natürlich noch etwas mehr Arbeit aufgewendet werden, da ein Theil durch die Axenreibung, den Luftwiderstand etc. in Anspruch genommen wird. Nach Versuchen, welche von der Militär-Ingenieurschule in Chatam im Auftrage des englischen Kriegsministeriums ausgeführt wurden (Elektrotechnische Zeitschrift 1881, Febr./März), werden bei den grösseren Maschinen von Siemens und Gramme 73 bis 89 Proc. der verbrauchten Arbeit im Stromkreise als elektrische Arbeit wieder gewonnen, d. h. der Wirkungsgrad dieser Stromerzeuger beträgt 73 bis 89 Proc.

Wird eine solche Maschine zur Erzeugung von elektrischem Licht benutzt, so wird durch den Widerstand des Lichtbogens ein grosser Antheil der Stromarbeit in Wärme verwandelt, welche eben zur Erhitzung der Kohlenspitzen und zur Erhaltung des Lichtbogens verwendet wird. Nach den oben citirten englischen Versuchen wurden 39 bis 54 Proc. der aufgewendeten Arbeit im Lichtbogen ausgenutzt. Der Widerstand im Lichtbogen betrug dabei in den günstigsten Versuchen ungefähr 0·5 Siemenseinheiten und bewegte sich zwischen 0·4 und 1·6 S. E.

Die elektromotorische Kraft der magneto-elektrischen Maschinen scheint innerhalb gewisser Gränzen nahe proportional der Umdrehungsgeschwindigkeit oder Tourenzahl zu sein. So erhielt z. B. A. v. Waltenhofen bei der erwähnten Siemens'schen Maschine folgende Resultate:

Tourenzahl per Secunde T	Elektromotorische Kraft E	$\frac{E}{T}$
$\frac{1}{4}$	21·5	86·0
$\frac{1}{2}$	43·9	87·8
1	86·4	86·4
2	175·6	87·8
3	262·5	87·5

Man kann demnach annähernd sagen: die elektromotorische Kraft der Siemens'schen Fünfzigmagnetmaschine beträgt bei

1 Tour per Secunde etwas über 4 Bunsen,
2 Touren „ „ „ „ 8 „
3 „ „ „ „ „ 12 „

dabei entsprechen je einer Tour der Kurbel 7 Umdrehungen des Inductors.

Zu einem ähnlichen Resultate gelangte Hagenbach bei der Untersuchung einer dynamo-elektrischen Maschine nach Gramme'schem System. Als er die Zahl der Umläufe als Abscissen und die Stromstärken als Ordinaten auftrug, erhielt er nahezu geradlinig verlaufende Curven, welche aber doch eine schwache Concavität nach unten zeigten. Durch Aenderung des Widerstandes konnten bei gleicher Tourenzahl die elektromotorischen Kräfte bei verschiedenen Stromstärken verglichen werden. Hagenbach fand, dass für schwache Stromstärken die elektromotorische Kraft mit der Stromstärke wächst. Hat aber die letztere einmal 80 Jacobi'sche Einheiten erreicht, so nimmt die elektromotorische Kraft nicht mehr merklich mit der Stromstärke zu, was sich daraus erklärt, dass die Magnete ihren Sättigungspunkt erreicht haben.

Zwischen den magneto-elektrischen und den dynamo-elektrischen Maschinen besteht in ihrem Verhalten ein bemerkenswerther Unterschied. Setzt man eine magneto-elektrische Maschine in Gang, so beginnt sofort ihre Wirksamkeit entsprechend der Umdrehungsgeschwindigkeit, weil die inducirenden Magnetpole bereits vorräthig sind. Zeitweilige Erhöhungen des Widerstandes stören den Strom der Maschine nicht in höherem Grade, als dem Ohm'schen Gesetze entspricht. Unterbrechungen des Stromes wirken nur so lange störend, als sie dauern. Die inducirende Wirkung der Maschine ist eben unabhängig von allen Vorgängen im Stromkreise. Ganz anders ist dies bei der dynamo-elektrischen Maschine. Wird sie in Gang gebracht, so muss sie erst den inducirenden Magnet selbst erzeugen. Sie kann demnach nicht augenblicklich die volle Stromstärke entwickeln. Erhöhungen des Widerstandes wirken doppelt auf die Stromstärke ein, einmal direct nach dem Ohm'schen Gesetze, dann aber auch dadurch, dass die verminderte Stromstärke einen verminderten Magnetismus, und dieser wieder schwächere Induction zur Folge hat, welche selbst wieder in derselben Weise schädigend auf die Stromstärke zurückwirkt. Die dynamo-elektrischen Maschinen haben daher, so sinnreich und vortheilhaft andererseits das dynamo-elektrische Princip ist, vor den magneto-elektrischen Maschinen den Nachtheil grosser Abhängigkeit der Wirksamkeit von allen Vorgängen im Stromkreise.

Bei den dynamo-elektrischen Lichtmaschinen haben daher alle Störungen des Kohlenregulators unangenehme Schwankungen der Stromstärke und damit auch der Lichtstärke im Gefolge. Diesem Uebelstande könnte einigermaassen abgeholfen werden, indem man die Maschine stets auf dem Maximum ihrer Leistungsfähigkeit erhält, weil dabei geringere Schwankungen des Stromes den Magnetismus der gesättigten Magnete weniger alteriren. Allein dies hat oft andere Uebelstände im Gefolge. Es empfiehlt sich daher unter Umständen, das dynamo-elektrische Princip theilweise aufzugeben. Es geschieht dies entweder in der Weise, dass man den Strom der Maschine theilt und nur einen Zweig zur dauernden Magne-

tisirung der Magnete verwendet, oder besser, indem man zwei Maschinen zusammenkuppelt. Die eine kleinere streng dynamo-elektrische Maschine liefert dann den Strom, um die Magnete der grösseren zu magnetisiren. Diese grössere wirkt also dann als magneto-elektrische Maschine, nur mit dem Unterschiede von den gewöhnlichen magneto-elektrischen Maschinen, dass ihre Magnete nicht permanente Stahlmagnete, sondern Elektromagnete sind. Da hierbei der Widerstand für die kleinere dynamo-elektrische Maschine constant bleibt, so treten für dieselbe die erwähnten Uebelstände nicht auf.

Was die unter Aufwand gewisser Arbeitsmengen erreichbare Lichtintensität betrifft, so hängt diese ausserdem von vielen Nebenumständen, insbesondere von der Beschaffenheit der Kohlen und der guten Wirksamkeit des Regulators ab. Um eine Uebersicht über die mit kleinerem Kraftaufwande erreichbaren Lichtintensitäten zu geben, führen wir die Versuchsresultate an, welche mit Edelmann's dynamo-elektrischer Maschine erhalten wurden:

Arbeitsaufwand	Umdrehungen des Inductors per Secunde	Lichtintensität in Normalkerzen
2 Mann	17	350
4 „	19	510
0·61 Pferdekraft	20	730
0·72 „	26	1250
0·84 „	30	1790

Die Siemens-Halske'sche Maschine D_3 liefert mit $2\frac{1}{4}$ Pferdekräften eine Lichtstärke von 1 200 Kerzen, die Maschine D_2 mit 4 Pferdekräften eine Lichtstärke von 3000 Kerzen, eine noch grössere Maschine mit 9·8 Pferdekräften 14 818 Kerzen, die grössten Gramme'schen Maschinen lieferten nach den oben citirten Versuchen in Chatam mit 9·52 Pferdekräften eine Lichtstärke von 19 500 Kerzen, mit 12·7 Pferdekräften 22 500 Kerzen, endlich mit 15·1 Pferdekräften die enorme Lichtstärke von 27 500 Kerzen! (Näheres hierüber an der citirten Stelle, sowie in Schellen's Werk S. 298.)

Ausser zur Erzeugung des elektrischen Lichtes werden die magneto- und dynamo-elektrischen Maschinen noch insbesondere zu chemischen Zwecken verwendet. Die kleineren Maschinen zersetzen schon das Wasser lebhaft und dienen zur galvanischen Versilberung, Vergoldung etc. Die Siemens-Halske'sche Fünfzigmagnetmaschine kann mit Maschinenbetrieb per Stunde 200 g Kupfer oder 700 g Silber niederschlagen. Die grössten Gramme'schen, für Galvanoplastik gebauten Maschinen liefern stündlich 15 kg Silberniederschlag.

Endlich können zwei dynamo-elektrische Maschinen, welche durch eine längere Leitung mit einander verbunden sind, zur Uebertragung von Kraft auf weite Strecken benutzt werden. Dabei liefert die erste Maschine auf Kosten von Arbeit den Strom, die zweite, welche umge-

kehrt als elektro-dynamischer Motor fungirt, verwandelt den Strom in Arbeit. Dabei geht allerdings unvermeidlich alle jene Energie für unseren Nutzgebrauch verloren, welche längs des Schliessungskreises in Wärme verwandelt wird. Um den Versuch zu demonstriren, braucht man nur zwei Gramme'sche oder Siemens'sche Handmaschinen durch zwei Drahtleitungen zu verbinden. Dreht man dann die eine Maschine, so beginnt die andere zu rotiren. Zur Kraftübertragung im Grossen sind also stets drei Maschinen in Anwendung: Erstens ein Krafterzeuger oder mechanischer Motor (Dampfmaschine, Gasmotor, Wassermotor), zweitens ein Stromerzeuger (dynamo- oder magneto-elektrische Maschine), drittens ein elektrischer Motor (elektro-magnetische oder elektro-dynamische Maschine).

Nach den bisherigen Erfahrungen können selbst bei längeren Leitungen mindestens 50 Proc. der vom Krafterzeuger gelieferten Arbeit am elektrischen Motor wieder erhalten werden und nach W. Siemens' Versuchen ist zu erwarten, dass der nutzbare Betrag noch höher gesteigert werden kann. Der Kraftverlust ist dabei um so geringer, je schneller die Maschinen sich drehen.

Der durch die Erwärmung des Kabels, welches die Maschinen verbindet, herbeigeführte Verlust ist natürlich dem Widerstande desselben proportional. Soll also ein n mal so langes Kabel keinen grösseren Verlust verursachen, so muss es auch n mal so grossen Querschnitt haben, was einen n^2 mal so grossen Aufwand von Metall erfordert.

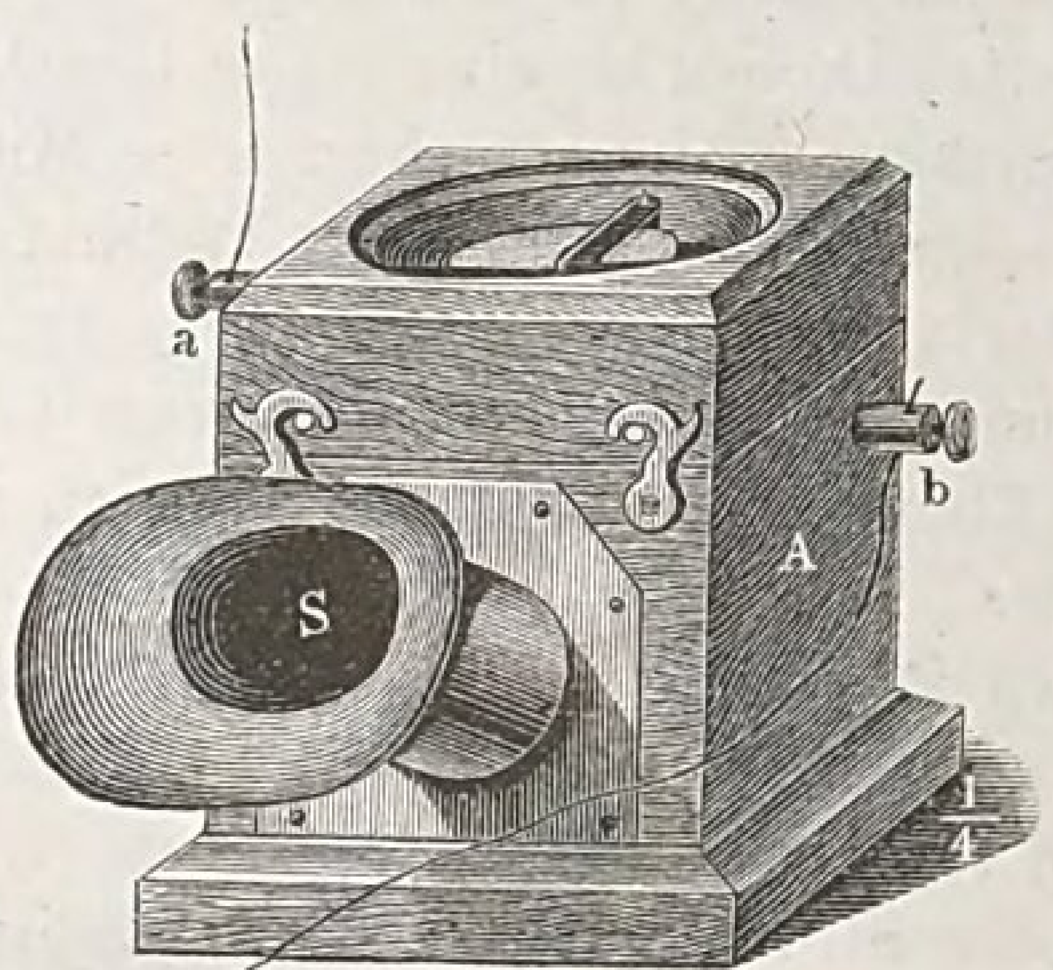
Unter den bis jetzt wirklich ausgeführten Kraftübertragungen ist sicherlich jene bei der elektrischen Eisenbahn von W. Siemens in Lichterfelde bei Berlin die interessanteste. Eine stationäre Dampfmaschine fungirt als Arbeitserzeuger und treibt eine dynamo-elektrische Maschine; der Strom derselben wird längs der Schienen durch eine isolirte Mittelschiene der elektrischen Locomotive zugeführt und fliesst durch die Seitenschienen wieder zurück. Die Locomotive enthält statt einer Dampfmaschine einen elektro-magnetischen Motor, welcher die Räder derselben in Drehung versetzt. Die Arbeitsverluste bei der Uebertragung werden theilweise durch den Umstand aufgewogen, dass die stehende Niederdruckdampfmaschine viel vortheilhafter ist, als die Hochdruckdampfmaschine einer Locomotive.

202 **Das Telephon und das Mikrophon.** Der Theorie nach sehr nahe verwandt mit dem Vorgange der Kraftübertragung zwischen zwei dynamo-elektrischen Apparaten, wovon einer als Inductionsapparat, der andere als elektro-magnetischer Motor wirkt, ist die Schallübertragung mittelst des elektrischen Stromes in dem Telephon von Bell. Dass wir es bei diesem mit minimalen Arbeitsaufwendungen und äusserst schwachen Strömen zu thun haben, ändert nichts an der Aehnlichkeit des Princips, das, freilich in ganz anderer Form, zur Anwendung kommt. Bevor wir jedoch das Bell'sche Telephon beschreiben, müssen wir der vorausge-

gangenen und bahnbrechenden Erfindung des ersten Telephons von Reis einige Aufmerksamkeit schenken.

Seite 501 haben wir erwähnt, dass, wenn man den Strom einer Magnetisirungsspirale, in welcher sich ein Stahldraht befindet, sehr rasch fortwährend unterbricht und wiederherstellt, neben dem Eigentone des Stabes noch ein anderer Ton auftrete, dessen Höhe mit dem Tone des Unterbrechungsapparates übereinstimmt.

Fig. 647.



Diesen Ton, welcher neben dem knarrenden Klirrgeräusch namentlich dann auftritt, wenn der magnetische Longitudinalton des Stabes durch die Art seiner Einklemmung unterdrückt ist, hat Reis zur Construction seines Telephons benutzt.

Fig. 647 stellt den Reis'schen Unterbrechungsapparat dar. In dem Deckel des hölzernen Hohlwürfels *A* ist eine kreisförmige Oeffnung ange-

Fig. 648.

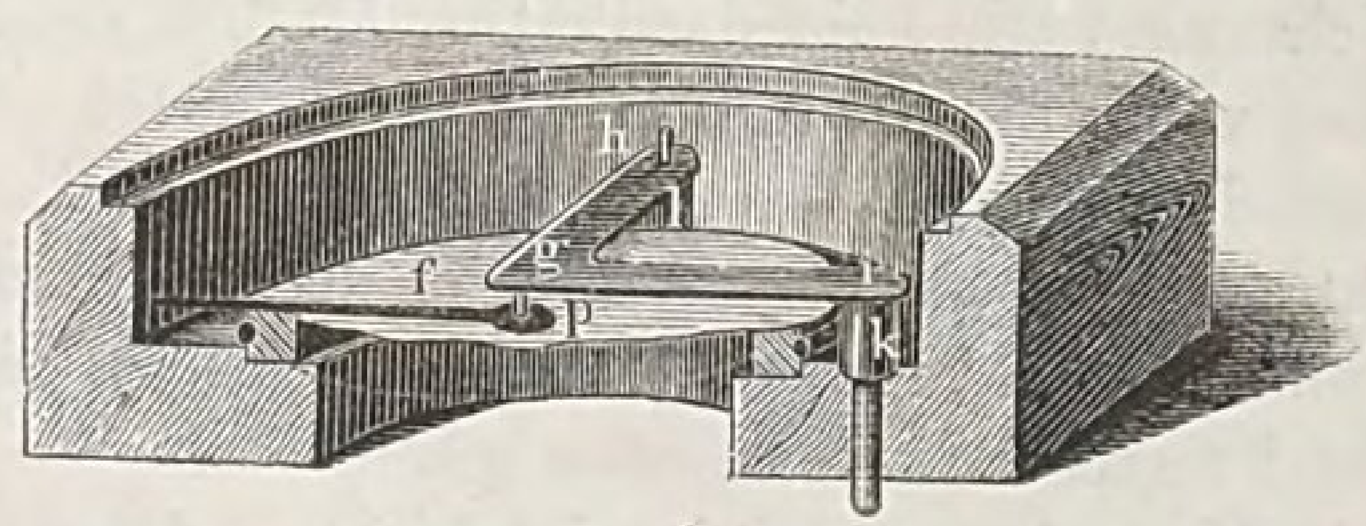
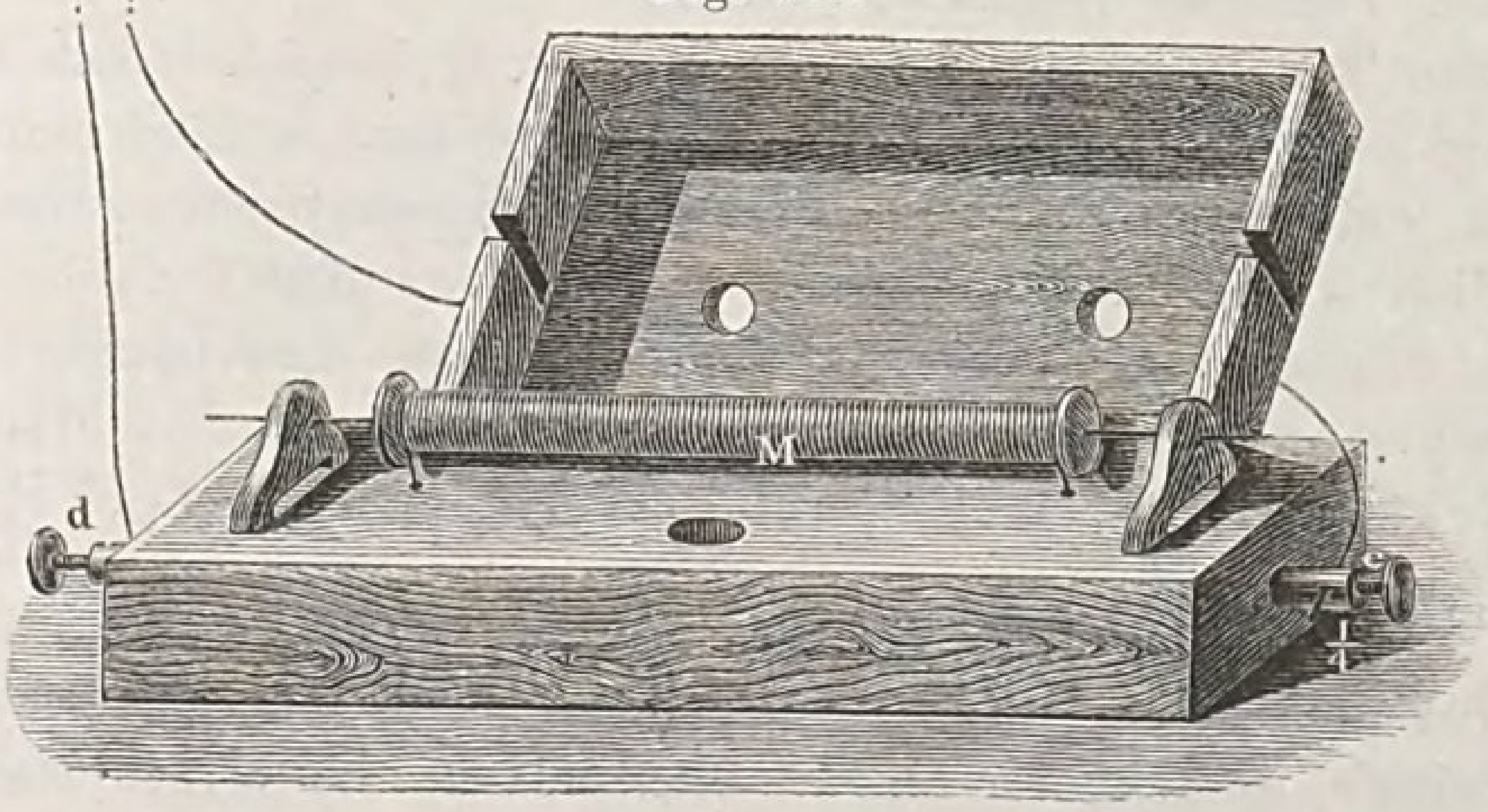


Fig. 649.



bracht, welche durch eine darüber gespannte elastische Membran (Schweinsdünndarm) geschlossen ist. Auf die Mitte dieser Membran ist ein kleines Platinplättchen aufgekittet, welches durch ein ganz dünnes Metallstreifchen *f* (deutlicher in Fig. 648 sichtbar) mit der Klemmschraube *a* in leitender Verbindung steht.

Auf der Mitte des Platinplättchens ruht ein kurzes Platinstiftchen, welches bei *g* an der unteren Seite des Blechstückes *hgi* befestigt ist, dessen eines Ende *h* auf dem Metallsäulchen *l* ruht, während ein an seiner Unterseite bei *i* befestigtes Platinstiftchen in eine etwas Quecksilber enthaltende Höhlung des Metallsäulchens *k* eingetaucht ist. — Mit dem Metallsäulchen *k* steht die Klemmschraube *b* in leitender Verbindung.

Von dem einen Pol der Batterie geht nun ein Leitungsdraht zur Klemmschraube *a* des Unterbrechungsapparates, Fig. 647, vom anderen Pol derselben geht ein Draht zur Klemmschraube *d* des sogleich zu besprechenden Reproductionsapparates, Fig. 649. Die Klemmschraube *c* dieses Apparates wird durch einen Draht mit *b*, Fig. 647, verbunden. Die Klemmschrauben *c* und *d* sind mit den Drahtenden der kleinen Magnetisirungsspirale *M*, Fig. 649, verbunden; bei der eben besprochenen Verbindung geht also der Strom der Stromquelle durch die Spirale *M* hindurch.

Sobald nun die Schallwellen eines hinlänglich kräftigen Tones durch die Mündung *S* in den Hohlwürfel *A* eintreten, wird die elastische Membran, welche denselben oben schliesst, in Vibrationen versetzt. Jede eintretende Verdichtungswelle hebt das Platinplättchen sammt dem darauf sitzenden Stiftchen; wenn aber die Membran nach unten schwingt, kann das Blech *hgi* mit dem bei *i* befestigten Stiftchen nicht schnell genug folgen, es entsteht also hier bei jeder Vibration der Membran eine Unterbrechung des Stromes, welche sich auch durch ein an der Unterbrechungsstelle auftretendes Fünkchen zu erkennen giebt.

In der Spirale *M* steckt nun ein Strickdraht, welcher, wie die Figur zeigt, auf einem Resonanzboden befestigt ist. Ein mit einem zweiten Resonanzboden versehener Deckel kann noch über die Spirale geklappt und dadurch der Ton sehr verstärkt werden.

Werden nun Töne vor der Mündung *S* hervorgebracht, indem man in dieselbe singt oder indem man Orgelpfeifen anbläst, so hört man an dem möglichst entfernt aufgestellten Reproductionsapparat zunächst ein eigenthümlich knarrendes Geräusch, welches von der Tonhöhe der am Unterbrechungsapparat hervorgebrachten Töne unabhängig ist, ausserdem werden aber diese Töne selbst durch den Stahldraht deutlich wahrnehmbar reproducirt, und zwar fand Reis, dass dies für alle Töne zwischen *F* und $\overline{\overline{f}}$ der Fall ist.

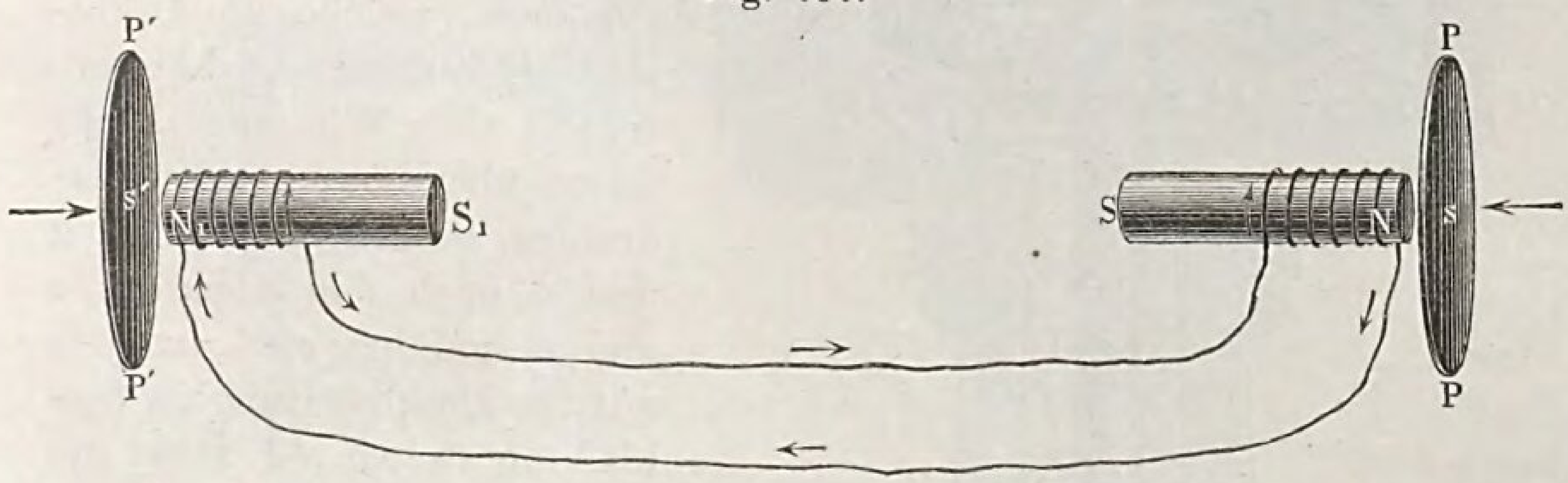
Bei den Versuchen von Reis war der Unterbrechungsapparat 100 m weit von der Spirale, und zwar in einem anderen Hause bei verschlossenen Thüren aufgestellt. Da nun aber die Länge des Leitungsdrahtes eben

so weit ausgedehnt werden kann wie bei directer Telegraphie, so gab Reis seinem Apparat den Namen Telephon (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für 1860/61).

Das Telephon von Reis hat die Unvollkommenheit, dass durch die Schwingungen der Membran an der Aufgabestation ein Strom nur ganz unterbrochen oder in voller Stärke hergestellt werden kann, dass aber durch die verschiedenen Grössen der Schwingungsintensitäten resp. der Amplituden der Membran nicht auch entsprechende verschiedene Stromintensitäten hervorgerufen werden können. Es ist daher mit diesem Instrumente wohl ein Rythmus, also eine Tonhöhe, nicht aber eine Klangfarbe zu reproduciren.

Ungleich vollkommener und doch von genialer Einfachheit ist das Telephon von Bell. Um dasselbe zu verstehen, beachten wir zunächst die schematische Fig. 650. SN und $S_1 N_1$ stellen zwei Stahlmagnete

Fig. 650.

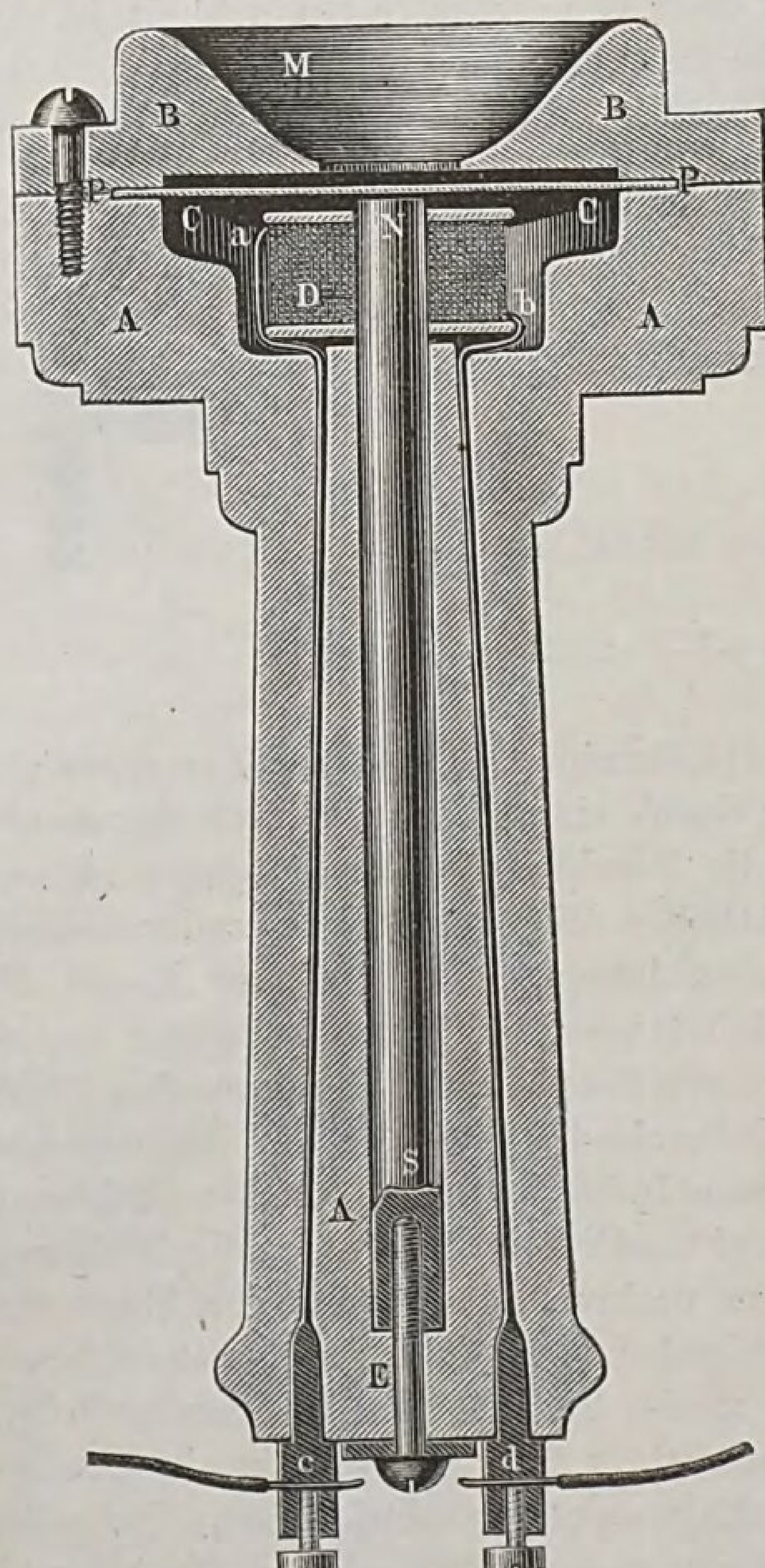


vor, PP und $P' P'$ zwei dünne kreisförmige Scheiben aus Eisen, welche den Polen sehr nahe stehen, aber durch eine elastische Kraft davon abstehend erhalten werden. Um die Nordpole beider Magnete ist ein Draht in der aus der Figur ersichtlichen Weise gewickelt und zu einem in sich zurückkehrenden Kreise geschlossen. Die Nordpole N und N_1 induciren in der Mitte der gegenüberstehenden Scheiben Südpole s und s'. Giebt man nun der Scheibe PP einen Stoss in der Richtung des Pfeils gegen den Magnetstab, so wird dadurch der Südpol s der Drahtspirale genähert und erzeugt daselbst einen Inductionsstrom solcher Richtung, der den Südpol s zu entfernen strebt. Dieser Strom hat die Richtung der kleinen Pfeile. Derselbe Strom umkreist dann auch den Magneten $N_1 S_1$, verstärkt daselbst den Nordpol und wirkt dadurch sowie direct selbst anziehend auf den Südpol s' der Scheibe $P' P'$. Daraus folgt, dass jede Annäherung der Scheibenmitte s fast gleichzeitig eine Anziehung der Scheibenmitte s' an die Magnetpole zur Folge hat. Dasselbe gilt beim Zurückziehen der Scheiben von den Polen. Kurz, alle hin und her gehenden Bewegungen resp. Schwingungen der einen Scheibe rufen sofort gleiche und fast gleichzeitige Schwingungen der andern Scheibe hervor. Erfolgen nun die Schwingungen der Scheibe PP durch den Anprall von Schallwellen bestimmter Form, so entstehen Schwingungen

der Scheibe $P'P'$, welche ihrerseits in der angrenzenden Luft Schallwellen derselben Form, wenn auch geringerer Intensität, hervorrufen. Da nun die Laute der menschlichen Sprache und die Klänge der musikalischen Instrumente durch Aufeinanderfolgen verschiedenartiger Schwingungen in regelmässiger oder unregelmässiger Wiederkehr gebildet sind, so erklärt sich, dass auf diese Weise eine hörbare Uebertragung der menschlichen Stimme oder anderer Schallbewegungen auf grosse Distanzen durch den Doppeldraht möglich ist.

Fig. 651 zeigt ein Telephon von Bell im Längsschnitt in ungefähr $\frac{2}{3}$ der natürlichen Grösse. In ein hölzernes Gehäuse AAA ist der Magnetstab NS eingeschlossen und seiner Längenaxe nach mittelst der Schraube E ein wenig verstellbar. CC ist eine Aushöhlung des Holzgehäuses, welche die Drahtspule D aufnimmt. Letztere enthält viele Windungen sehr feinen übersponnenen Kupferdrahtes, dessen Enden von a und b nach den Klemmen c und d geführt sind, wo sie mit der Doppelleitung in Verbindung stehen. PP ist die kreisrunde, papierdünne Eisenplatte, welche durch Aufschrauben des Holzstückes BB mittelst dreier Schrauben unverrückbar befestigt ist. Dieses Holzstück hat bei M eine trichterförmige Mündung, deren Hintergrund gegen die Eisenplatte hin eine kreisförmige Oeffnung besitzt. Der Durchmesser der letzteren ist etwa doppelt so gross als jener des Magnetstabes. Die Eisenplatte PP befindet sich nahe an dem Pole des Magneten, ohne ihn jedoch zu berühren. Zwei solche Telephone zusammen verbunden mittelst zweier von einander isolirter aber meistens zusammen umsponnener Drahtleitungen bilden einen vollständigen Apparat. Spricht man mässig laut gegen die Platte des einen Telephons, während gleichzeitig ein anderer

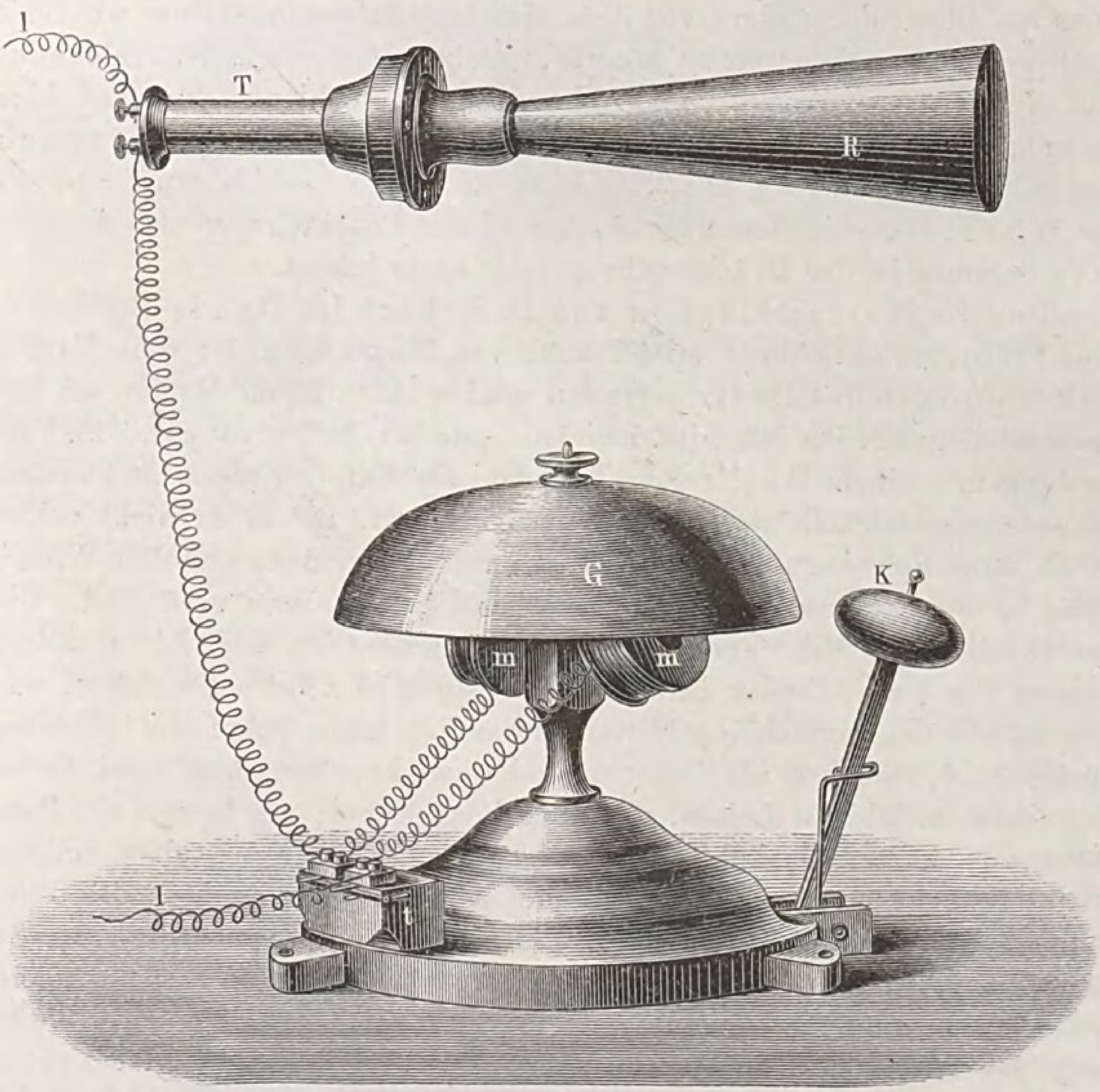
Fig. 651.



Beobachter das andere Telephon ans Ohr hält, so hört derselbe mit vollständiger Deutlichkeit jedes Wort und erkennt sogar die Person des Sprechers an seiner Stimme. Dieselbe klingt wie aus weiter Ferne. Die Distanz der beiden Telephone kann dabei über 100 km betragen.

Die Construction des Bell'schen Telephons ist noch in mancherlei Weise verbessert und dadurch die Hörbarkeit gesteigert worden. Ausserdem sind mannigfache Nebenvorrichtungen erfunden worden, um an der Empfangsstation ein auf weiteren Umkreis hörbares Zeichen geben zu können. Solche „Rufapparate" sind entweder vom Telephon unabhängige telegraphische Signalapparate, oder es sind Vorrichtungen, welche am Telephon selbst stärkere Schallerregungen hervorbringen. Fig. 652 zeigt einen solchen Rufapparat von A. Weinhold. Die

Fig. 652.



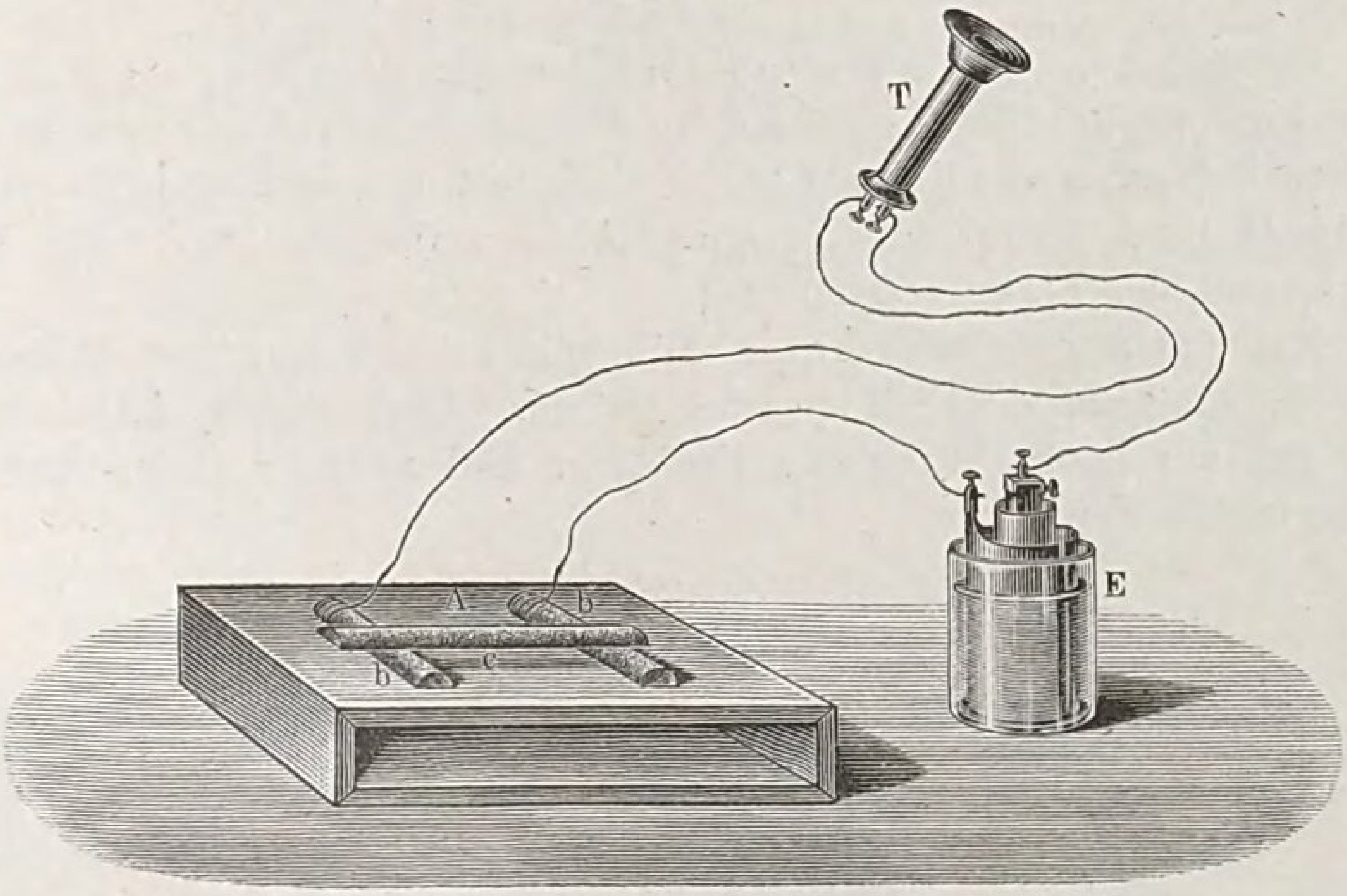
stählerne Glocke G schwingt beim Anschlagen mit dem Hammer K mit zwei gegenüberliegenden Stellen ihrer Innenseite nahe vor den Enden eines bogenförmigen Eisenkerns $m\,m$, welche mit Inductionsspulen umgeben sind. Die hierdurch entstehenden kräftigen Inductionsströme werden durch Doppeldraht, oder durch einfachen Draht und Erdleitung dem

entfernten Telephon T zugeführt, dessen Ton mittelst des aufgesetzten Resonators R, der auf die Tonhöhe der Glocke abgestimmt ist, verstärkt wird. Aug. Töpler verwendete statt der Glocke Stimmgabeln, von denen je eine bei den beiden Telephonen an Stelle der schwingenden Eisenplatte angebracht wurde. Am einfachsten ist der Rufapparat an den neueren vortrefflichen Hufeisen-Telephonen von Siemens und Halske. Er besteht aus einer kleinen Zungenpfeife, welche in die Mündung des Telephons gesteckt wird und welche beim Anblasen einen leichten gestielten Metallkörper auf der Eisenplatte vibrirend in Bewegung setzt. Der hierdurch an dem Empfangstelephon hervorgebrachte Ton ist bis in ein Nachbarzimmer deutlich vernehmbar und dient als Aviso. Beim Sprechen wird dann die Zungenpfeife weggenommen. Bequem ist es, an jeder Station zwei Telephone nach einander in die Leitung einzuschalten, wovon eines am Ohre, das andere vor dem Munde gehalten wird, um während des Sprechens auch hören zu können. Ueber die Theorie des Telephons sind eine grössere Anzahl von Abhandlungen erschienen, die wir hier übergehen müssen. Erwähnenswerth ist noch die von Kohlrausch angegebene Anwendung des Telephons an Stelle des Galvanoskops an der Wheatstone'schen Brücke, wo es zur Constatirung des Mangels eines Stromes in der Brücke sehr gute Dienste leistet.

Das Universaltelephon von D. Robert Lüdtge in Berlin (im Jan. 1878), welches dann später auch von Hughes unter dem Namen Mikrophon selbstständig erfunden und unter diesem Namen am bekanntesten geworden ist, wird meistens nur als Aufgabeapparat in Verbindung mit einem Bell'schen Telephon als Empfangsapparat benutzt. Es unterscheidet sich wesentlich vom Telephon, indem es nicht selbst durch seine Schwingungen den Strom erzeugt, sondern nur den Widerstand in der Leitung eines vorher vorhandenen Stromes verändert. Die Construction des Mikrophons variirt ausserordentlich und ist im Allgemeinen von verblüffender Einfachheit. Fig. 653 zeigt ein solches, wie man es mit den einfachsten Mitteln herstellen kann. Auf ein hölzernes Kästchen A, welches als Resonanzboden wirkt, legt man zwei Stäbe von einem beliebigen Leiter, z. B. ein Paar Nägel, am besten ein Paar Stäbe von harter Gaskohle b, b' und quer darüber ein eben solches drittes Stäbchen c. b und b' verbindet man mit den Drähten des Telephons T und schaltet irgendwo in die Leitung ein Element E ein. So lange das Kästchen A vollständig unerschüttert bleibt, was nur dann der Fall ist, wenn die Umgebung in lautloser Stille erhalten wird, bleibt auch der Widerstand an den Contactstellen der Stäbchen gleich gross und der Strom von constanter Stärke. In diesem Falle wird am Telephon Nichts gehört. Die leiseste Berührung des Brettchens A, das Darüberschreiten einer Fliege, das Sprechen in seiner Nähe u. s. f. verursacht Schwingungen der Stäbe, welche die Contactstellen in der Weise afficiren, dass daselbst der Uebergangswiderstand im nämlichen Rythmus geändert wird, in welchem die Schwingungen des Schalles erfolgen.

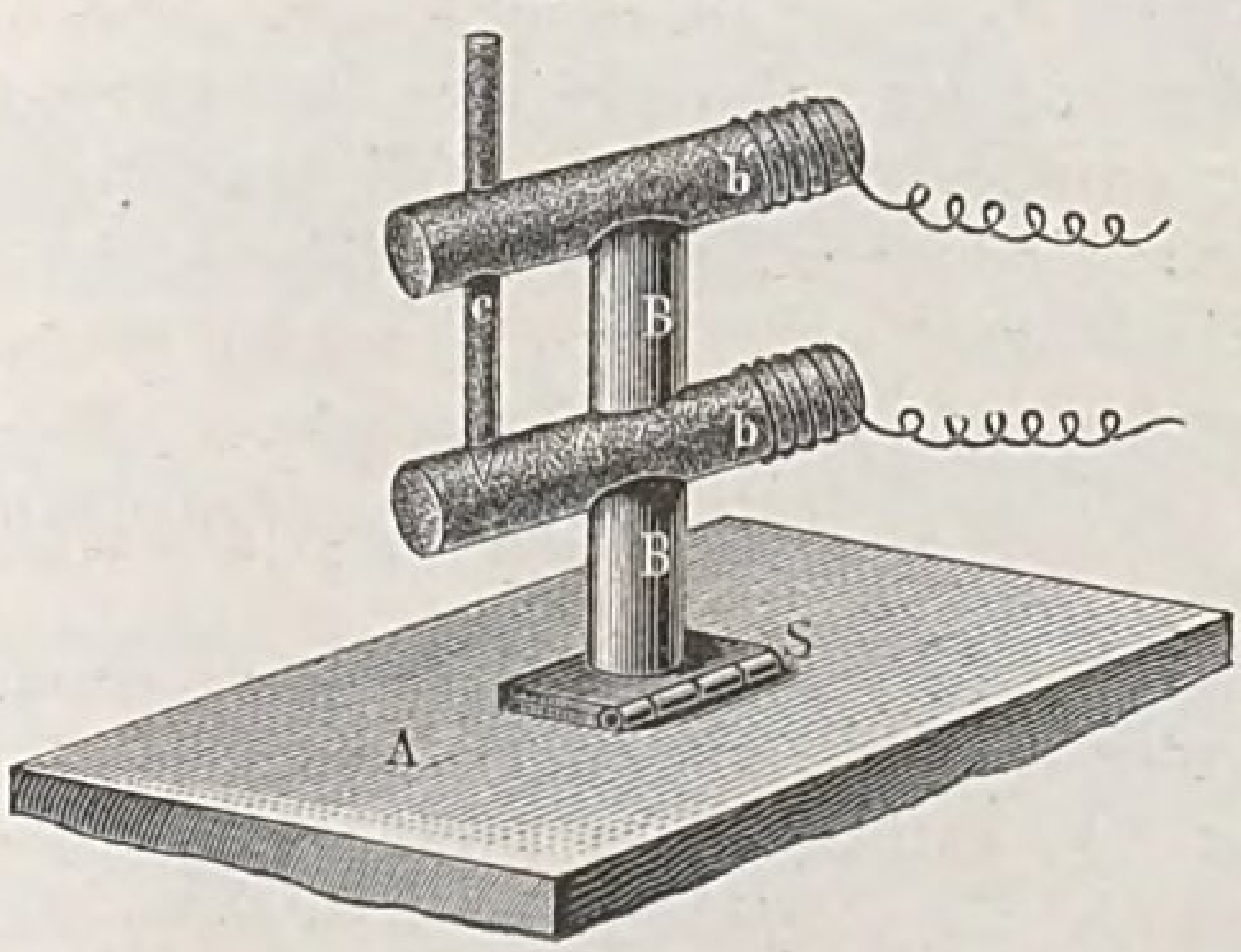
Hierdurch wird also auch die Stromstärke im Draht geändert, hierdurch die Stärke des Magnetismus im Telephon und hierdurch das Eisenplätt-

Fig. 653.



chen in Schwingungen versetzt, welche sich der benachbarten Luft mittheilen. Die hierbei auftretenden Geräusche des Telephons sind meistens viel lauter als diejenigen, welche von einem Telephon in einem andern hervorgerufen werden, weil begreiflicher Weise die Stromänderungen viel bedeutender sind. Es gelingt aber nicht so sicher die getreue Wiedergabe der Klangfarbe und des Charakters der Schalleindrücke der Aufgabestation. Um dies eher zu erreichen, empfiehlt es sich, den Druck, mit welchem die Stäbchen sich berühren, regulirbar zu machen. Fig. 654 zeigt ein hierzu geeignetes Mikrophon von A. Weinhold in halber Grösse. Auf dem Resonanzbrettchen A ist zunächst ein messingenes Scharnier S und auf diesem ein isolirendes Säulchen aus Siegellack oder Holz B B befestigt. Letzteres trägt die circa 4 cm langen Querbalken von Gaskohle b, b'. Das dritte verticale Kohlenstäbchen c ist durch ein Loch des oberen horizontalen Stäbchens hindurchgesteckt und ruht mit seiner Spitze in einer Vertiefung des unteren. Die Drahtver-

Fig. 654.

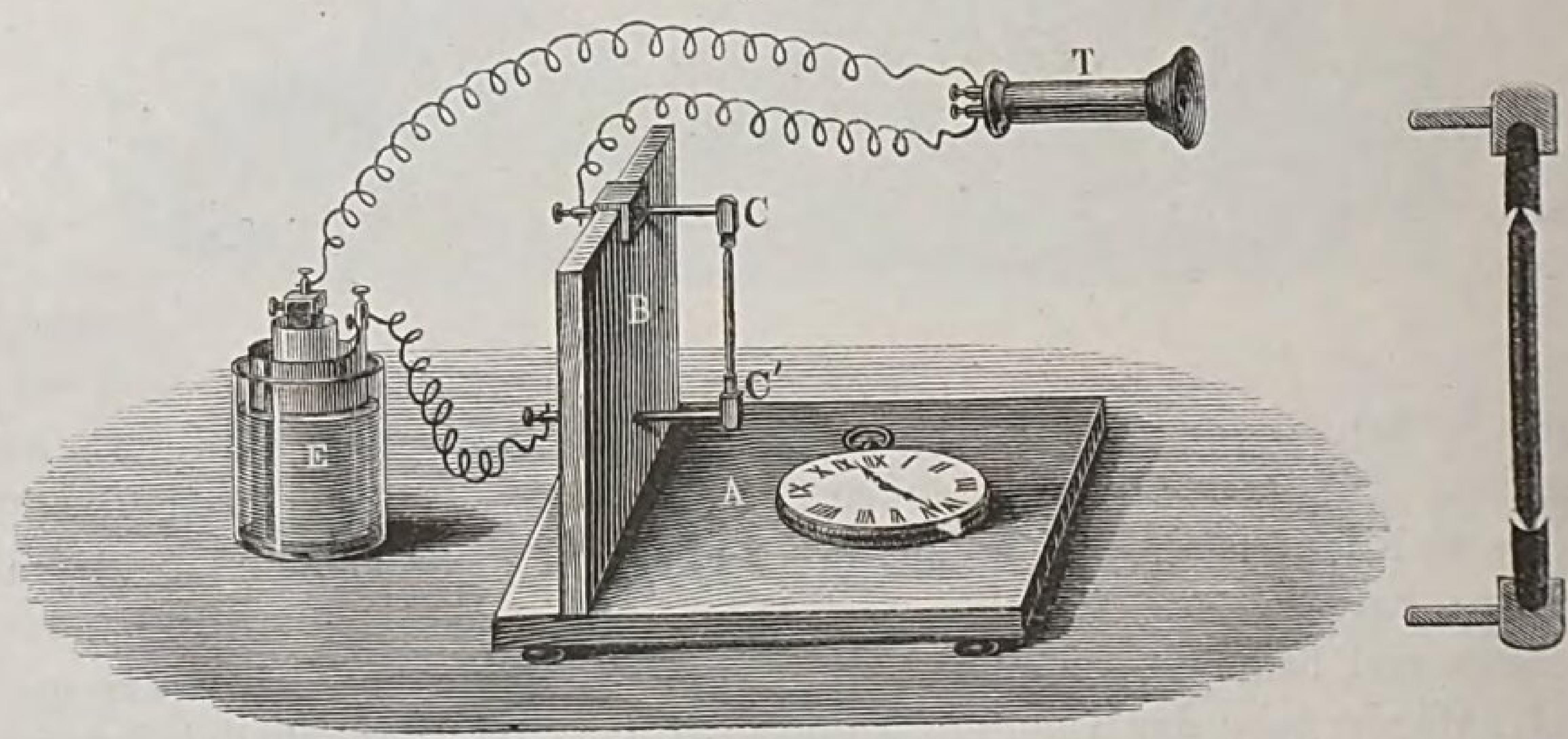


bindung ist wie bei Fig. 653. Durch Neigen des Säulchens $B\,B$ regulirt man den Druck des verticalen Stäbchens auf seine Unterlage, bis der Apparat eben am besten fungirt, was nur durch Versuche zu ermitteln ist.

Fig. 655 zeigt das Mikrophon im Wesentlichen, wie es von Hughes construirt wurde. Das verticale Kohlenstäbchen ruht mit seinen zwei Spitzen in Lagern von Kohle C, C', welche mit dem verticalen Resonanzbrette B durch horizontale metallene Arme verbunden sind. Das Weitere ist aus der Figur verständlich.

Mit einem gut construirten Mikrophon kann man auf Distanzen über 300 km ganz deutlich sprechen hören. Auch eignet sich dasselbe sehr gut zur Beobachtung von Erdbeben und zu sehr vielen anderen interessanten Versuchen.

Fig. 655.



203 **Reaction der durch Bewegung inducirten Ströme; Dämpfung; Foucault'sche Ströme; Rotationsmagnetismus.** Wir haben schon mehrmals das Princip von Lenz erwähnt, nach welchem jeder durch eine Bewegung erzeugte Inductionsstrom selbst die entgegengesetzte Bewegung hervorzurufen, also diejenige Bewegung zu hemmen strebt, durch welche er entstanden ist. Diese Wirkung erfolgt nicht allein in geschlossenen Drahtwindungen, sondern überhaupt in jedem Leiter, in dessen Nähe ein Magnet sich bewegt, werden Ströme inducirt, welche hemmend auf seine Bewegung wirken. Diese unter Anderem von Foucault studirten Inductionsströme werden häufig Foucault'sche Ströme genannt.

Lässt man einen an Seidenfäden aufgehängten Magnetstab einmal vollkommen frei, dann aber wieder umgeben von einem kupfernen Bügel, wie es Fig. 656 dargestellt ist, oscilliren, so wird bei gleichem ursprünglichen Ausschlagswinkel der Magnetstab im letztern Falle weit eher zur Ruhe kommen, d. h. die Oscillationen werden weit schneller aufhören, als wenn der kupferne Bügel fehlt. Darauf gründet sich die An-

wendung kupferner Dämpfer, mit welchen der Magnet der in §. 142 besprochenen Spiegelgalvanometer, Fig. 406 bis 419, umgeben ist.

Die Induction von Strömen und die Rückwirkung derselben auf den inducirenden Magnet erfolgt aber auch ganz in gleicher Weise, wenn ein beweglicher Leiter in der Nähe eines festen Magnets bewegt wird. Auch hier wirken die inducirten Ströme im bewegten Leiter und die Ampère'schen Ströme des Magnets (oder Elektromagnets) hemmend auf die Bewegung des Leiters, wie sich dies sehr auffallend in folgendem von Faraday herrührenden Versuche zeigt. Man hänge eine massive Kugel von Kupfer zwischen den beiden Polen eines kräftigen Elektromagnets an einem Faden auf, den man durch vielfache Drehung um seine eigene Axe stark tordirt. Ueberlässt man dann die Kugel sich selbst, während der Strom noch nicht die Windungen des Elektromagnets durchläuft, so fängt dieselbe an, rasch um ihre verticale Axe zu rotiren, sie steht aber augenblicklich still, sobald man den Elektromagnet in Thätigkeit setzt. Um dies dem Auditorium besser ersichtlich zu machen, befestigt man ein helles Federchen an der Kugel und lässt diese recht nahe zwischen den Polen *N*, *S* der im §. 191 erwähnten Halbanker rotiren.

Foucault brachte eine kupferne Scheibe, welche man, an einer Kurbel drehend, durch Vermittelung von Zahnrädern in rasche Rotation versetzen konnte, zwischen die beiden Pole eines kräftigen Elektromagnets. Fig. 657 deutet an, wie der Versuch mit Hülfe des Elektromag-

Fig. 656.

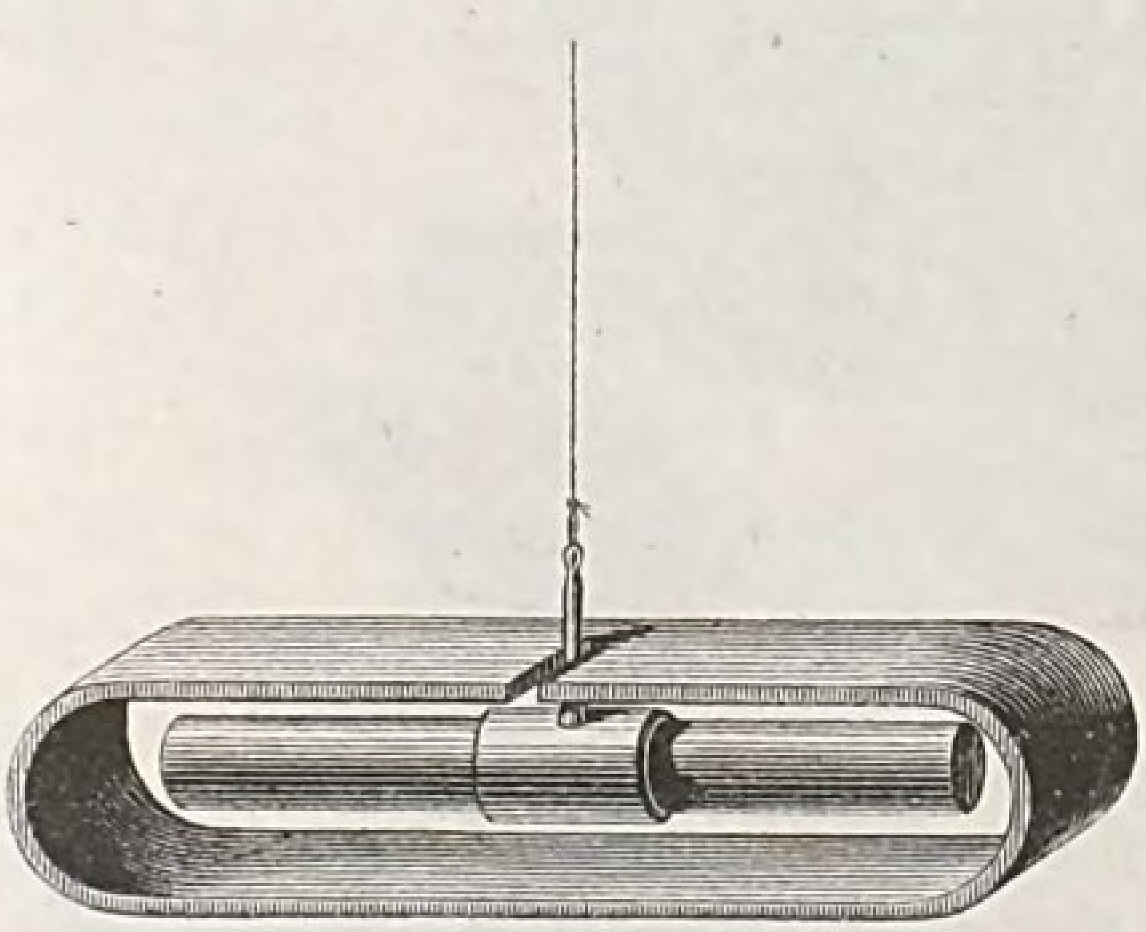
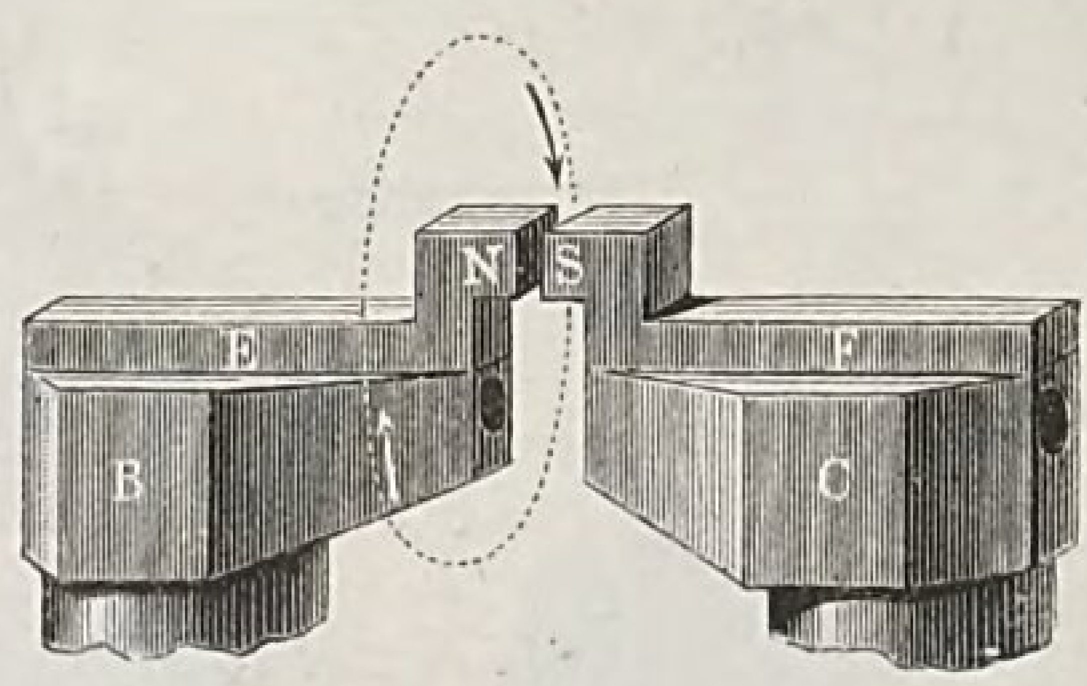


Fig. 657.

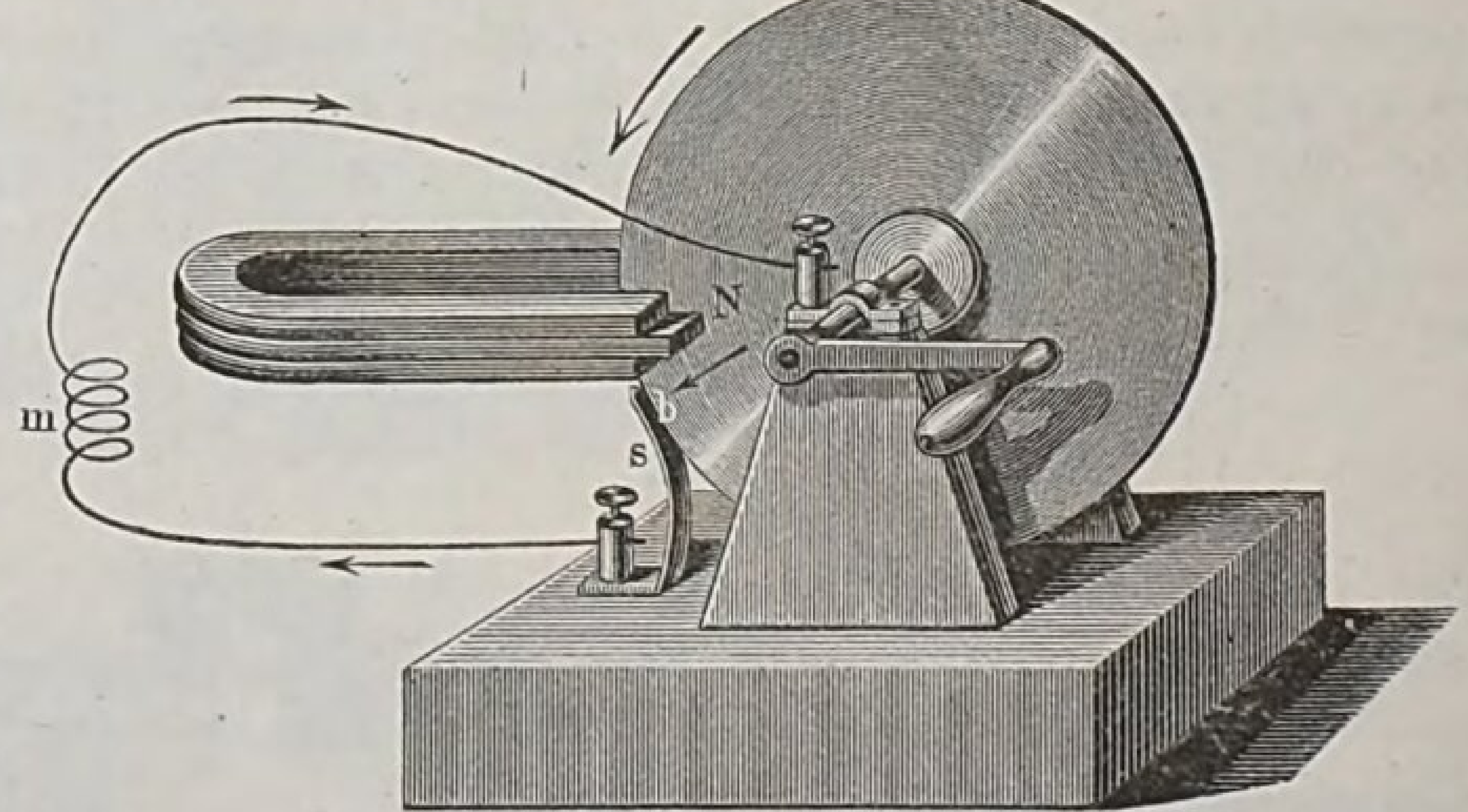


nets, Fig. 428, Seite 476, anzustellen ist. Auf die schon besprochenen eisernen Halbanker *B* und *C* werden die Eisenstücke *E* und *F* so aufgeschraubt, dass die einander zugewendeten Polflächen bei *N* und *S* nur 6 bis 8 mm von einander entfernt sind. Zwischen diese beiden Polflächen wird nun die Kupferscheibe eingeschoben, deren Lage in unserer Figur durch einen punktirten Kreis angegeben ist. Das Räderwerk kann ungefähr so eingerichtet sein, dass auf eine Umdrehung der Kurbel 8 bis 12 Umdrehungen der Scheibe kommen.

So lange nun der Elektromagnet nicht in Thätigkeit gesetzt ist, kann man ohne grosse Mühe die Kupferscheibe in rasche Rotation versetzen. Sobald man aber einen Strom durch die Windungen des Elektromagnets gehen lässt, fühlt die Hand, welche an der Kurbel arbeitet, einen bedeutenden Widerstand, und nur mit grosser Kraftanstrengung kann man die Drehung der Scheibe bewirken. Die Reaction zwischen dem Magnet und der rotirenden Scheibe wirkt also wie die Reibung als Hinderniss der Bewegung. Man kann übrigens auch ohne Räderwerk einfach mit der Hand eine Kupferplatte zwischen den Polen in Bewegung setzen und fühlt daselbst sehr deutlich die auftretende Hemmung, welche täuschend den Eindruck macht, als wenn man die Kupferscheibe in eine zähe Flüssigkeit getaucht hätte. Wenn man mit Anstrengung die rotirende Bewegung der Scheibe zwischen den Magnetpolen eine Zeit lang unterhält, so erwärmt sie sich nach und nach, und zwar kann ihre Temperatur auf diese Weise bis über 90⁰ gesteigert werden.

Dass in der Kupferscheibe wirklich Inductionsströme erregt werden, kann mittelst des von Faraday angegebenen Versuches, Fig. 658, nach-

Fig. 658.



gewiesen werden. Wenn man die Metallfeder *s*, welche in der Nähe der Magnetpole gegen den amalgamirten Rand der Kupferscheibe drückt, mit der metallenen Axe der Scheibe durch eine Drahtleitung verbindet, und in dieselbe einen Multiplicator einschaltet, wie dies in unserer Figur bei *m* schematisch angedeutet ist, so weicht die Nadel des Multiplicators aus, sobald die Scheibe rotirt, und zwar hängt die Richtung der Ablenkung von der Richtung der Rotation ab; einmal nämlich zeigt die Nadel einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum Rande geht, bei entgegengesetzter Drehungsrichtung einen Strom vom Rande nach der Mitte.

Es seien *S* und *N*, Fig. 659, die Magnetpole, zwischen welchen die Kupferscheibe um ihren Mittelpunkt *c* rotirt. Die kleinen, auf den Pol-

flächen *S* und *N* aufgezeichneten Pfeile bezeichnen die Richtung der Ampère'schen Ströme, wie sie dem Südpole *S* und dem Nordpole *N* entsprechen. An den einander zugekehrten Seiten der beiden Pole, also bei *a* und *b*, sind diese Ströme gleichgerichtet und zwar in unserem Falle von oben nach unten verlaufend. — Ginge nun in der Scheibe ein Strom von *c* nach *d*, so würden die der Scheibe zunächst liegenden Theile der Ampère'schen Ströme, also die Stromstücke bei *a* und *b*, ein Bestreben ausüben, das Stromstück *cd* sich parallel und gleichgerichtet zu stellen, und wenn das Stromstück *cd* sammt der ganzen Kupferscheibe um *c* drehbar ist, so wird dieselbe durch die Einwirkung der Stromstücke bei *a* und *b* auf *cd* in der Richtung des kleinen Pfeils bei *d* gedreht werden. Man muss also die Scheibe in der entgegengesetzten Richtung, d. h. in der Richtung des Pfeils bei *g* mechanisch drehen, wenn durch die Magnetpole *N* und *S* ein Strom in der Richtung von *c* nach *d* inducirt werden soll.

Wenn auf die mechanisch gedrehte Scheibe nicht die beiden Magnetpole *S* und *N*, sondern nur einer derselben einwirkte, so würde die Erscheinung bis auf die Intensität der Wirkung ganz die gleiche gewesen sein.

In dem oben durch Fig. 658 erläuterten Inductionsversuch waren die Inductionsströme dadurch nachgewiesen worden, dass ausserhalb der Scheibe eine metallische Verbindung zwischen ihrer Axe und einem Punkt ihres Randes durch eine Drahtleitung hergestellt worden war, in welche der Multiplicator eingeschaltet wurde. Wenn aber auch diese Drahtleitung ganz fehlt, so hört deshalb die Induction der Ströme in der mechanisch gedrehten Scheibe nicht auf, nur werden dieselben, da sie nicht durch eine Drahtleitung aus der Scheibe abgeleitet werden, innerhalb derselben ihren Weg vollenden müssen; die Scheibe wird von Strömen durchlaufen, ungefähr wie es Fig. 660 zeigt.

Fig. 661 zeigt den ungefähren Verlauf der Ströme, welche in einer um ihren Mittelpunkt rotirenden Scheibe inducirt werden, wenn die

Fig. 659.

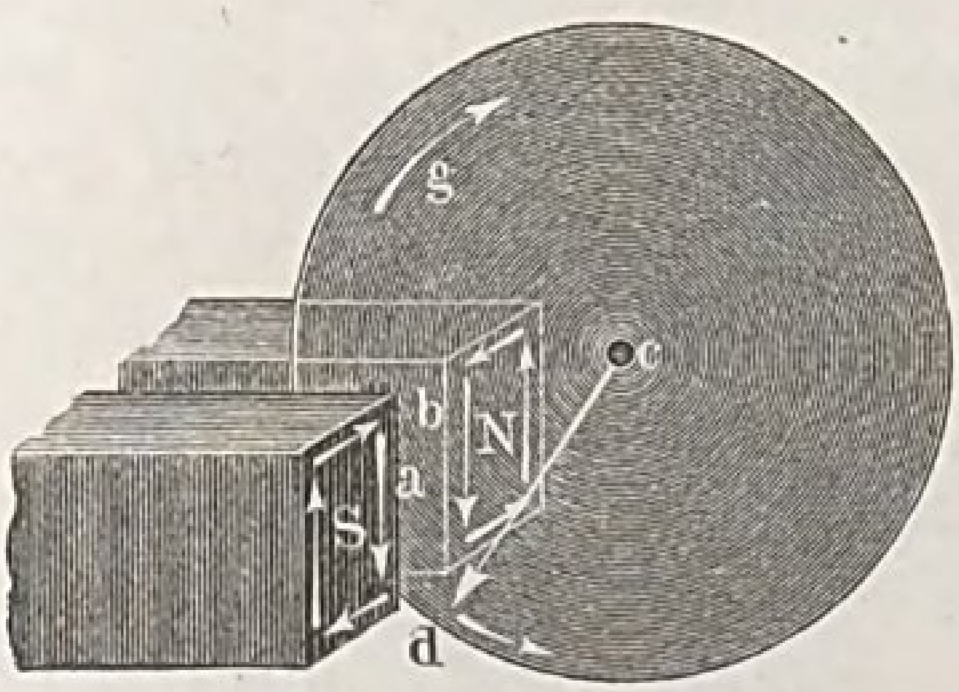
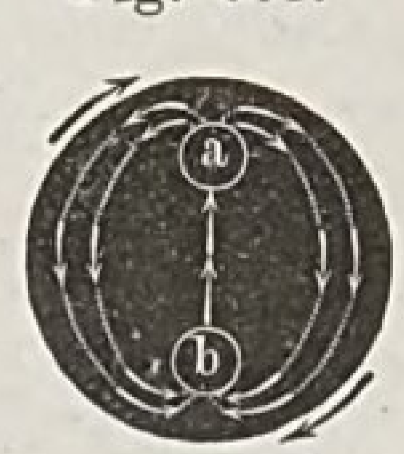


Fig. 660.



Fig. 661.



beiden Pole des inducirenden Magnets den Punkten *a* und *b* gegenüberstehen.

Man erkennt sofort, dass dieses Experiment als Umkehrung des Barlow'schen Experimentes, §. 167, aufgefasst werden kann. Beim Barlow'schen Rade wird durch den Strom die Rotation, hier durch die

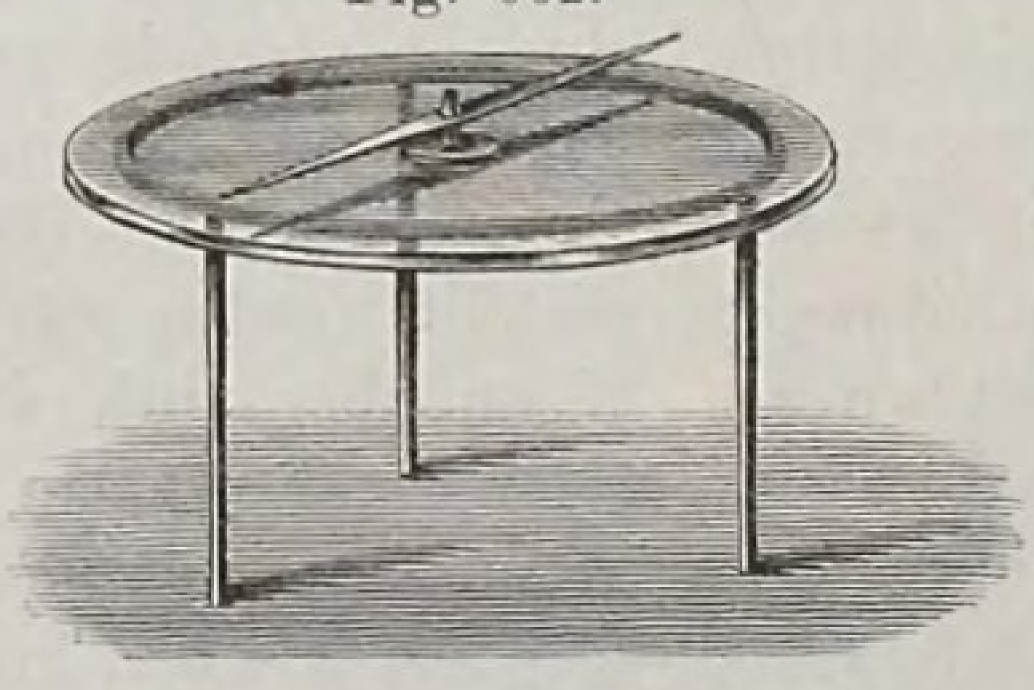
Rotation der Strom erzeugt. Jener ist ein elektro-dynamischer, **Fig.** 658 ein dynamo-elektrischer Apparat.

Wenn eine Kupferscheibe in der Nähe eines leicht beweglichen Magnets rotirt, so wird die Reaction zwischen der Scheibe und dem Magnet den letztern selbst in Bewegung setzen, wie dies in der That von Arago beobachtet worden ist, als er unter einer in horizontaler Ebene drehbaren Magnetnadel eine horizontale Kupferscheibe um ihre verticale Axe rotiren liess.

Da also die Scheibe durch ihre Rotation gewissermaassen magnetische (anziehende und abstossende) Eigenschaft annimmt, so heisst man diese Erscheinung auch „Rotationsmagnetismus".

Man kann den Versuch mit jeder Centrifugalmaschine anstellen. Mit der Fig. 354, S. 290 des 1. Bandes abgebildeten Schwungmaschine lässt sich der Verlust einfach auf folgende Weise arrangiren. Nachdem die in ihrer horizontalen Ebene rotirende Kupferscheibe auf den Zapfen a aufgesetzt ist, wird auf das Gestell ein Dreifuss, Fig. 662, von starkem Messingdraht so gestellt, dass der Ring dieses Dreifusses ungefähr die Kupferscheibe umgiebt. Auf diesen Ring wird dann eine Glasscheibe gelegt, auf welche man endlich die auf einer niedrigen Spitze spielende Magnetnadel aufsetzt.

Fig. 662.



Die Erscheinungen, welche man mit diesem Apparate beobachtet, sind folgende. Wenn Alles in Ruhe ist, stellt sich die Nadel in den magnetischen Meridian. Fängt man nun an zu drehen, so wird die Nadel in der Richtung abgelenkt, nach welcher sich die Scheibe dreht. Die Kraft also, welche die Nadel fortzieht, wirkt der magnetischen Kraft der Erde entgegen, welche die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt; je nach dem Verhältnisse dieser beiden Kräfte findet eine bestimmte Gleichgewichtslage für die Nadel statt. Die ablenkende Kraft der Scheibe wächst mit der Geschwindigkeit; bei einer geringen Geschwindigkeit wird also die Nadel z. B. eine Ablenkung von 10^0 erleiden und in dieser Lage stehen bleiben; bei einer grösseren Geschwindigkeit wird die Ablenkung 20^0 betragen etc. Man kann es auf diese Weise dahin bringen, dass die Nadel bei jeder beliebigen Neigung gegen den magnetischen Meridian von 0^0 bis 90^0 stehen bleibt, je nachdem man der Scheibe eine grössere oder geringere constante Geschwindigkeit ertheilt. Sobald aber die Geschwindigkeit einmal gross genug ist, um die Nadel um mehr als 90^0 abzulenken, giebt es keine Ruhelage für die Nadel mehr, die Nadel dreht sich nun mit der Scheibe.

Die Intensität der Wirkung, welche die rotirende Scheibe auf die Nadel hervorbringt, nimmt mit der Entfernung ab.

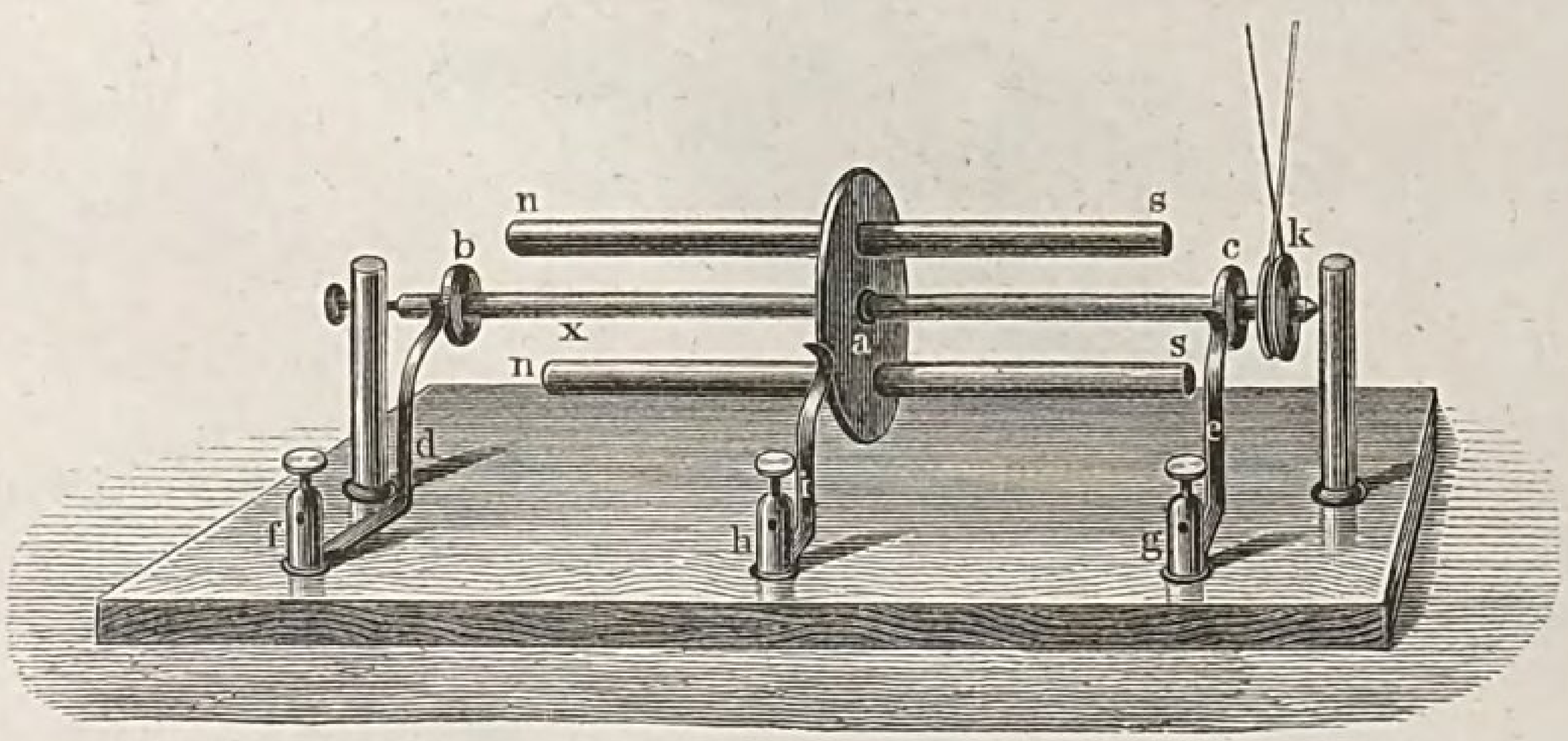
Nimmt man statt des Kupfers Scheiben von einem anderen Metall,

so nimmt die Stärke der Windung mit der Leitungsfähigkeit des Metalles ab.

Wenn die Scheibe in der Richtung der Radien eingeschnitten ist, so verliert sie ihre Wirksamkeit fast ganz; wenn man aber die Einschnitte der kupfernen Scheibe nur am Rande mit einem beliebigen Metalle, selbst mit Wismuth, wieder zulöthet, so wird die verlorene Wirksamkeit zum Theil wieder hergestellt.

Auch die übrigen in §. 167 und 168 beschriebenen Rotationsapparate lassen sich in Inductionsapparate umgestalten. Doch sind die in Fig. 515 u. s. f. abgebildeten Constructionen hierzu wenig geeignet. Plücker und Fessel haben aber zu diesem Zwecke mehrere Apparate construirt, von welchen wir nur einen näher betrachten wollen, nämlich den Apparat Fig. 663, welcher zur Umkehrung des Rotationsversuchs Fig. 520 dient. Zwei Magnetstäbe *n s* sind parallel mit einander in einer

Fig. 663.

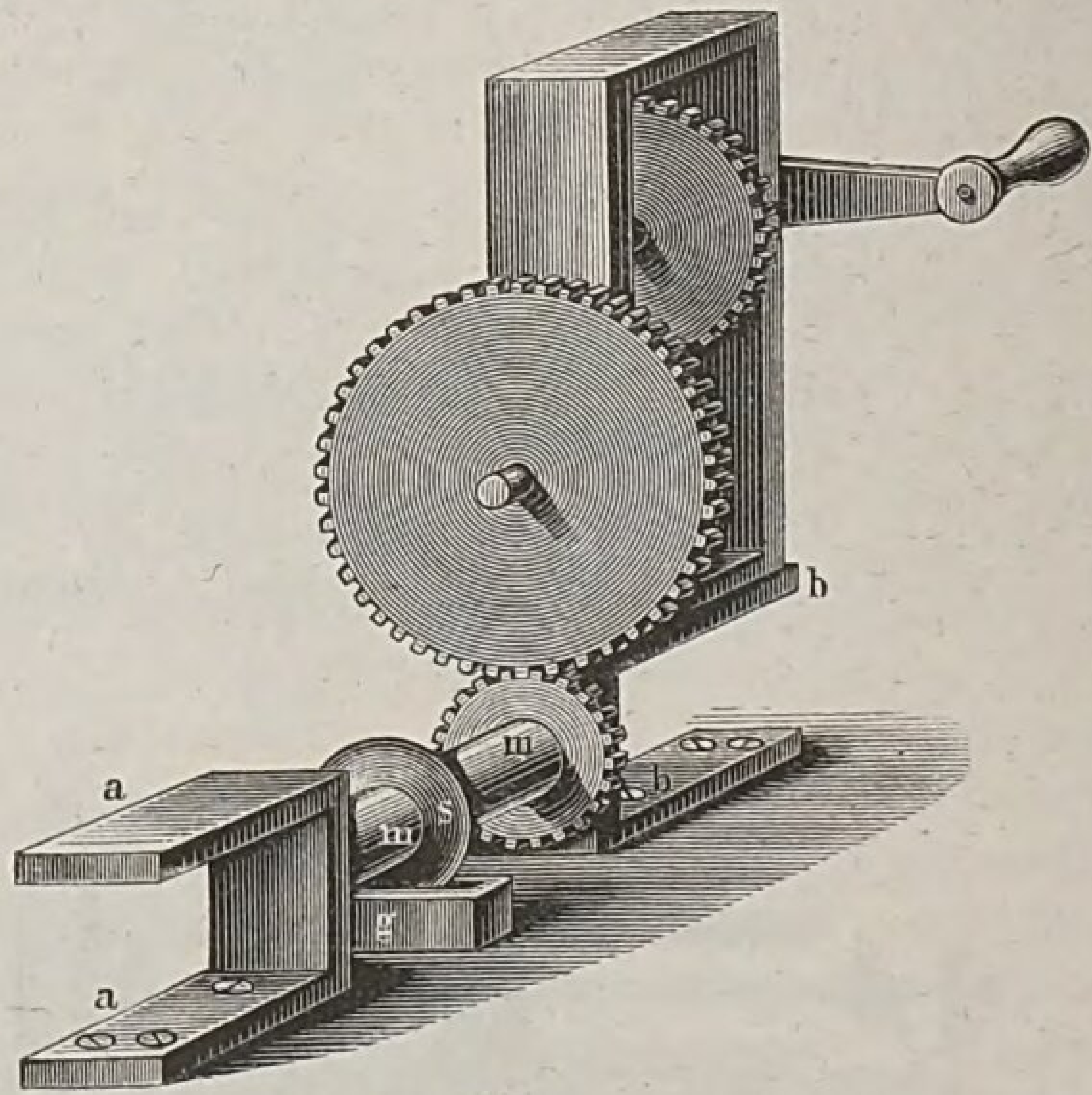


kupfernen Scheibe *a* befestigt, welche in der Mitte einer den Magneten parallelen metallischen Axe *x* aufgesetzt ist. Diese Axe, welche mittelst eines um die Rolle *k* geschlungenen Schnurlaufs in Rotation versetzt werden kann, trägt ferner die beiden Metallscheiben *b* und *c*. Gegen *b* drückt die mit dem Messingsäulchen *f* verbundene Metallfeder *d*. Auf *a* schleift in gleicher Weise die mit dem Messingsäulchen *h* verbundene Feder *i* und auf *c* die mit *g* verbundene Feder *e*. Sind nun *f* und *h* durch eine Drahtleitung verbunden, in welcher ein Multiplicator eingeschaltet ist, so zeigt derselbe durch die Ablenkung seiner Nadel einen Inductionsstrom an, sobald die Rotation um die Axe *x* bewerkstelligt wird. Dasselbe findet statt, wenn die Drahtleitung mit dem Multiplicator zwischen *h* und *g* eingeschaltet wird. Dagegen zeigt der Multiplicator keine Ablenkung, wenn die Enden der Drahtleitung, in welche er eingeschaltet ist, in die Messingsäulchen *f* und *g* eingeschraubt sind, wie dies nach den Bemerkungen in §. 167 wohl vorauszusehen war.

Auch durch die Umkehrung des Rotationsversuchs Fig. 521 wird eine Strominduction erzeugt. Der Apparat, welchen Weber anwendete,

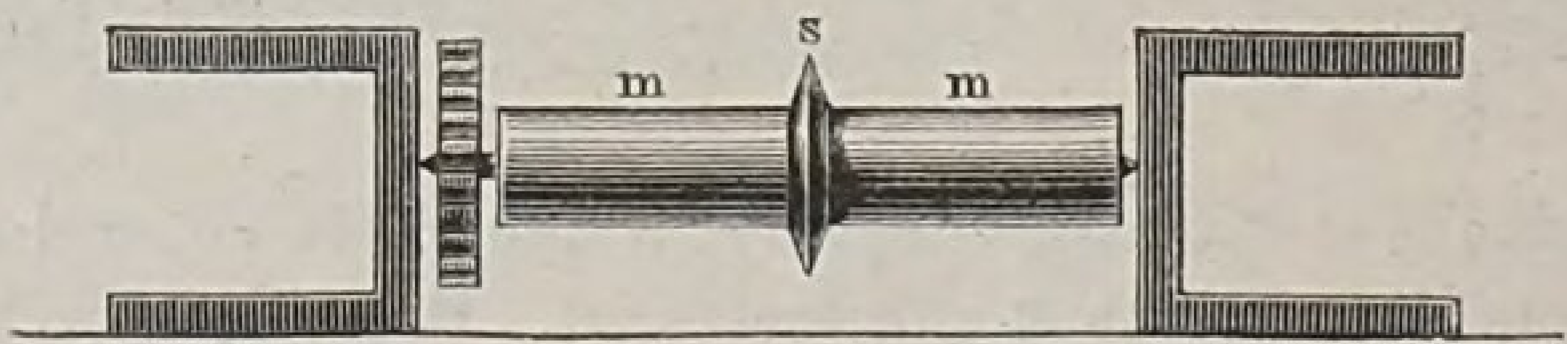
um durch einen um seine Axe rotirenden Magneten eine Induction hervorzubringen, welche er mit dem Namen der **unipolaren Induction** bezeichnet, ist Fig. 664 dargestellt. Ein cylindrischer Stahlmagnet *m*

Fig. 664.



war an beiden Enden mit Spitzen versehen, welche in kleine Vertiefungen der eisernen Klammern *a* und *b* eingesetzt waren, wie man dies Fig. 665

Fig. 665.



deutlicher sieht. Diese Klammern waren auf das Brett aufgeschraubt, welches den ganzen Apparat trug. — In diese Klammern konnte man zwei grosse Magnete mit denjenigen Enden einschieben, welche den entgegenstehenden Polen des Magnets *m* entgegengesetzt waren, und dadurch den Magnetismus des Stahlcylinders *m* bedeutend erhöhten.

Die Umdrehung des Magnets *m* um seine Axe wurde durch ein Getriebe bewerkstelligt, dessen Einrichtung sich aus der Fig. 664 ergiebt. Bei jeder Umdrehung der Kurbel machte der Stahlcylinder $8^4/_7$ Umdrehungen.

Ungefähr auf der Mitte des Stahlcylinders *m* war eine Messingscheibe *s* befestigt, deren unteres Ende in Quecksilber eintauchte, welches sich in dem Gefässe *g* befand.

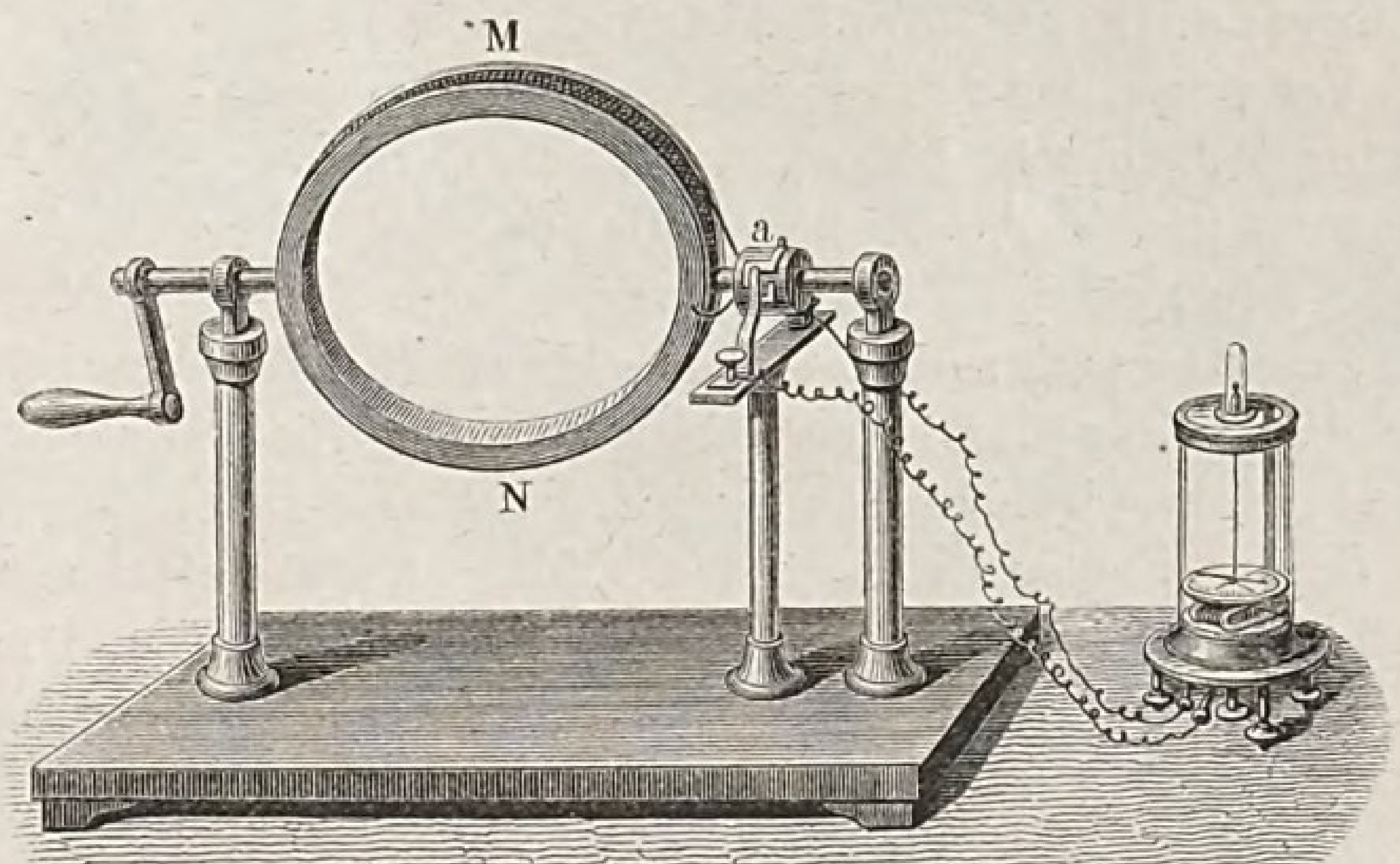
Wurde nun das eine Drahtende eines Multiplicators in das Quecksilbergefäss *g* getaucht, das andere an der Klammer *b* befestigt, so wurde

die Multiplicatornadel abgelenkt, sobald man die Kurbel zu drehen begann.

Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus. 204 Auch der Erdmagnetismus kann, so gut wie ein Magnet, in einer geschlossenen Spirale Ströme induciren; da aber hier von einem Annähern und Entfernen nicht die Rede sein kann, so muss hier die Induction durch die Rotation der Spirale bewirkt werden. — Faraday hat die Induction durch den Erdmagnetismus zuerst beobachtet. Nach ihm wurde die Induction durch den Erdmagnetismus zunächst durch einige italienische Naturforscher weiter verfolgt und endlich construirte Palmieri einen tellurischen Inductionsapparat, mit welchem er Funken, Schläge und Wasserzersetzung ohne Vermittelung von weichem Eisen hervorbrachte: 200 Windungen eines 1·5 mm dicken Kupferdrahtes waren auf einen elliptischen Rahmen gewickelt, dessen grosse Axe 2·2 und dessen kleine Axe 0·6 m betrug. Die grosse Axe dieser Ellipse diente, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig stehend, als Umdrehungsaxe.

Fig. 666 stellt einen derartigen Erdinductionsapparat mit kreisförmigen Windungen dar. Es seien zunächst die Enden der Drahtwin-

Fig. 666.



dungen direct (d. h. ohne Vermittelung des Commutators a, welcher zu diesem Zweck entfernt sein muss) mit einem etwas entfernt stehenden Multiplicator verbunden, und der Rahmen MN so gestellt, dass seine Ebene rechtwinklig steht auf der Richtung der Inclinationsnadel, so wird, wenn man die Axe rasch um 180° dreht, ein Strom in den Windungen inducirt, welcher die Multiplicatornadel nach einer, etwa nach der rechten Seite hin ablenkt. Dreht man alsdann, wenn die Nadel, auf dem Rückwege begriffen, eben die Gleichgewichtslage passirt, die Windungen rasch in ihre ursprüngliche Lage zurück, so erfolgt eine Ablenkung der Multi-

plicatornadel nach entgegengesetzter Seite, welche grösser ist als die erste, weil die Nadel schon in Bewegung war, als der Inductionsstrom auf sie wirkte.

Fährt man auf diese Weise fort, jedesmal die Windungen um 180° zu drehen, wenn die Nadel eben die Gleichgewichtslage passirt, so erreicht man nach einiger Zeit ein Maximum der Ablenkung, welches als ein Maass für die inducirende Kraft des Erdmagnetismus betrachtet werden kann.

Hätte man den Apparat so gestellt, dass die Umdrehungsaxe selbst mit der Richtung der Inclinationsnadel parallel ist, so würde man keinerlei Ablenkung am Multiplicator beobachtet haben.

Für den Fall, dass die Umdrehungsaxe der Inductionsspirale eine verticale Lage hat und man die Drehung um 180° jeweils von einer Lage aus vornimmt, bei welcher die Ebene der Windungen rechtwinklig auf dem magnetischen Meridiane steht, kann nur der horizontale Theil des Erdmagnetismus inducirend auf die Spirale wirken, die am Multiplicator beobachtete Ablenkung ist also in diesem Falle ein Maass für die horizontale Composante H des Erdmagnetismus.

Steht endlich die Umdrehungsaxe zwar horizontal, aber in der Ebene des magnetischen Meridians, beginnt man die Drehungen um 180° stets von einer solchen Stellung aus, bei welcher die Windungen in einer horizontalen Ebene liegen, so kann nur der verticale Theil des Erdmagnetismus inducirend wirken, die in diesem Fall am Multiplicator beobachtete Ablenkung ist also ein Maass für die verticale Composante V des Erdmagnetismus.

Darauf nun gründet Weber (Pogg. Annal. XC.) eine Methode zur Bestimmung der magnetischen Inclination durch Erdinduction, indem er die Stärke der Inductionsströme ermittelt, welche in einer grossen Inductionsspirale durch den Erdmagnetismus inducirt werden, wenn die Umdrehungsaxe sich in den beiden zuletzt besprochenen Positionen befindet. Bezeichnet man mit H die horizontale und mit V die verticale Composante der Intensität des Erdmagnetismus, so hat man

$$tang\, i = \frac{V}{H},$$

wenn man mit i die Inclination bezeichnet.

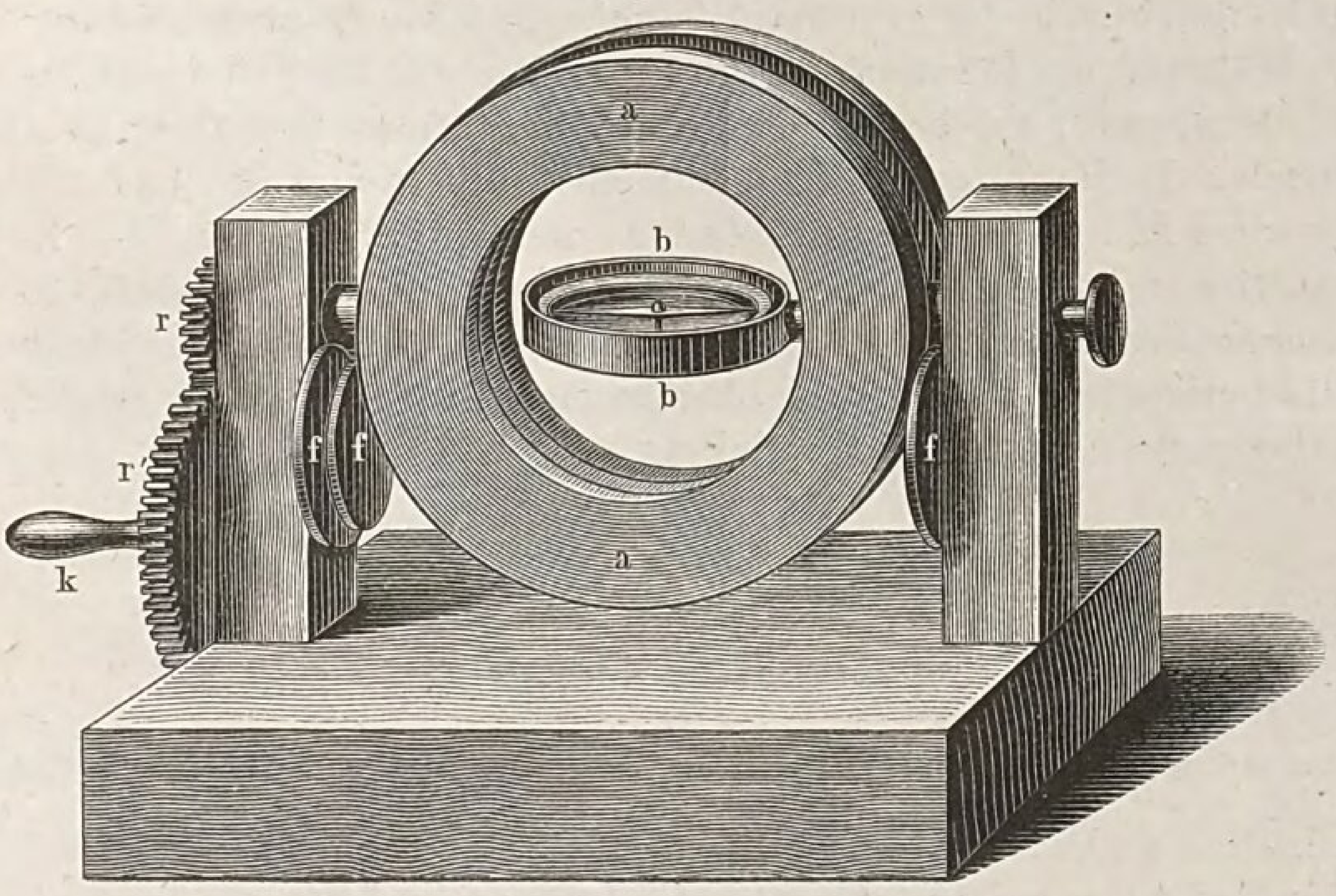
Die von Weber zu diesem Zwecke verwendete Inductionsspirale war aus einem 542 m langen ungefähr 20 kg schweren übersponnenen Kupferdraht verfertigt und bestand aus 605 Windungen, die in 18 Schichten über einander lagen. Der Umfang der innersten Schicht betrug 718, der Umfang der obersten Schicht aber betrug 1078 mm. Die Summe der von sämmtlichen Windungen umschlossenen Kreisflächen war 39 216 930 qmm.

Will man mit den durch Erdmagnetismus inducirten Strömen bei continuirlicher Rotation der Axe experimentiren, so muss man die

Drahtenden der rotirenden Spiralen mit einem auf der Rotationsaxe angebrachten Commutator in ähnlicher Weise verbinden, wie dies bei den magneto-elektrischen Rotationsmaschinen der Fall ist. Wenn der Commutator so gestellt ist, dass er gerade in dem Momente wechselt, in welchem ein Wechsel der Stromrichtung in der rotirenden Spirale stattfindet, so liefert der Commutator stets gleichgerichtete Ströme. An dem Apparat Fig. 666 ist ein solcher Commutator bei *a* angebracht. Durch Vermittelung desselben erhält man bei continuirlicher Rotation der Inductionsspirale an dem Multiplicator eine constante Ablenkung.

Weber hat auch noch auf eine zweite sehr sinnreiche Weise die tellurische Induction benutzt, um die magnetische Inclination zu bestimmen. Sein Inductions-Inclinatorium, Fig. 667, hat folgende Ein-

Fig. 667.



richtung. *a a* ist ein Ring, welcher 100 mm inneren und 161 mm äusseren Durchmesser hat; er besteht aus 16 ringförmig ausgeschnittenen Kupferblechen, von denen 8 auf der einen, 8 auf der anderen Seite sich befinden, während in der Mitte ein Zwischenraum von 12 mm bleibt. Die Dicke des ganzen Ringes mit Einschluss des Zwischenraumes betrug 34 mm. Die Axe, um welche dieser Ring gedreht ist, liegt auf beiden Seiten auf Frictionsrollen. Auf der rechten Seite ist die Axe hohl, und durch diese Höhlung ragt ein Stäbchen in den Ring hinein, welches die Bussole *b* trägt. Die Rotation des Ringes um seine Axe wird unter Vermittelung der Zahnräder *r* und *r'* durch die Kurbel *k* bewirkt. Sieben Umdrehungen der Kurbel entsprechen 40 Umdrehungen des Inductionsringes.

Das Instrument wird so aufgestellt, dass die Umdrehungsaxe des Inductionsringes in den magnetischen Meridian fällt.

Bei jedem Schlage eines Secundenzählers wurde die Kurbel $\frac{1}{2}$- oder 1 mal herumgedreht, was für den ersten Fall 166·7, für den zweiten 333·4 Umdrehungen des Inductors in der Minute ausmacht, da der Secundenschläger nicht genau Secunden schlug, sondern 60 Schläge = 61·7 Secunden waren.

Bei 166·7 Umdrehungen des Inductors in einer Minute wurde die Magnetnadel um 5·63°, bei 333·4 Umdrehungen um 10·76° abgelenkt; die Ablenkung, also auch die Stärke des inducirten Stromes, ist mithin nahezu der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional.

Da die Magnetnadel bei ihrer Ruhelage mit der Umdrehungsaxe des Ringes zusammenfällt, so kann sie im rotirenden Ringe keine Ströme induciren; ebensowenig inducirt der horizontale Theil des Erdmagnetismus im rotirenden Ringe einen Strom, die inducirten Ströme rühren also lediglich von der verticalen Composante des Erdmagnetismus her.

Während der Rotation des Ringes wirken auf die Nadel zwei Kräfte, eine ablenkende, welche von dem inducirten Strome herrührt, also dem verticalen Theile T' des Erdmagnetismus proportional ist, und die wir also mit $b\,M\,.\,T'$ bezeichnen können, wenn M die Stärke des Nadelmagnetismus und b ein constanter Factor ist. Der horizontale Theil des Erdmagnetismus zieht aber die Nadel mit der Kraft $M\,T$ zurück, wenn T die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bezeichnet; folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels v

$$tang\,v = \frac{b\,M\,T'}{M\,T} = b\,\frac{T'}{T} = b\,.\,tang\,i$$

oder

$$tang\,i = a\,tang\,v,$$

wenn $a = \frac{1}{b}$, denn der Quotient $\frac{T'}{T}$ ist der Tangente der magnetischen Inclination i gleich. Man könnte also aus der beobachteten Ablenkung v der Nadel unseres Instrumentes die Inclination i berechnen, wenn nur der Factor a bekannt wäre.

Diesen Factor kann man aber umgekehrt für eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit bestimmen, wenn die Inclination des Ortes genau bekannt ist. Nach den oben angeführten Beobachtungen war für 166·7 Umdrehungen in der Minute die Ablenkung im Mittel 5·465°, also $tang\,v = 0{\cdot}0962$; für Göttingen, wo die Versuche mit dem Instrument angestellt wurden, war zur Zeit dieser Beobachtungen die Inclination 67° 50′; also $tang\,i = 2{\cdot}4545$, und

$$a = \frac{2{\cdot}4545}{0{\cdot}0962} = 25{\cdot}514.$$

Für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit haben wir also

$$tang\,i = 25{\cdot}514\,tang\,v.$$

Man kann also nun, wenn an irgend einem anderen Orte Versuche mit diesem Instrumente gemacht werden, aus dem beobachteten Ablen-

kungswinkel v die Inclination des Ortes bestimmen. Gesetzt, man habe mit demselben Instrumente an irgend einem Orte für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit $v = 3{\cdot}5^0$ gefunden, so ergäbe sich für die Inclination dieses Ortes

$$tang\, i = 25{\cdot}514 \,.\, 0{\cdot}06116 = 1{\cdot}5605$$
$$i = 57^0\, 21'.$$

Der Factor von $tang\, v$ ändert sich übrigens im umgekehrten Verhältniss der Umdrehungsgeschwindigkeit; für 500 Umdrehungen in der Minute (natürlich an demselben Instrument) wäre demnach der Factor von $tang\, v$

$$a = 25{\cdot}514 \cdot \frac{166{\cdot}7}{500}.$$

So ist man also vermöge dieser äusserst sinnreichen Methode im Stande, aus der beobachteten Ablenkung einer horizontalen Magnetnadel die Inclination des Ortes zu bestimmen. (Poggend. Annal. Band XLIII, S. 493.)

Widerstandsbestimmungen nach absolutem Maasse. 205 Nachdem wir die Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus kennen gelernt haben, müssen wir nun auf die Bestimmungen des elektrischen Leitungswiderstandes nach absolutem Maass zurückkommen.

Nach dem Ohm'schen Gesetz ist

$$s = \frac{e}{w},$$

wenn s die Stromstärke, e die elektromotorische Kraft und w den gesammten im Schliessungsbogen zu überwindenden Widerstand bezeichnet. Sind zwei der drei Grössen s, e und w bekannt, so lässt sich die dritte berechnen, und zwar ergiebt sich

$$w = \frac{e}{s} \quad \text{.} \quad 1)$$

Wenn also e und s nach absolutem Maass bekannt sind, so lässt sich auch der auf dieses Maass bezogene Werth von w berechnen.

Dass man die Stromstärke nach absolutem Maass bestimmen kann, haben wir bereits in §. 171 gesehen. Die Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus macht es aber möglich, auch die elektromotorische Kraft auf dieses Maasssystem zurückzuführen.

Denken wir uns, ein leitender Kreisring, dessen Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, werde aus dieser Lage um seinen verticalen Durchmesser in einer Secunde um 90⁰ gedreht, so dass er nun rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stehen kommt, so wird bei dieser Operation durch den Erdmagnetismus in den Kreisring ein Strom mit einer elektromotorischen Kraft inducirt, welche dem horizon-

talen Theil des Erdmagnetismus und dem Flächenraum proportional ist, welchen der Kreisring einschliesst.

Als Einheit der elektromotorischen Kraft wollen wir nun diejenige annehmen, mit welcher der Erdmagnetismus in Folge der bezeichneten Drehung des Kreisringes einen Strom induciren würde, wenn der Werth des horizontalen Theils des Erdmagnetismus nach absolutem Maass gemessen gleich 1 wäre und wenn der von dem Kreisring eingeschlossene Flächenraum 1 qmm betrüge.

Ist nun aber der horizontale Theil des Erdmagnetismus nach absolutem Maass gemessen gleich T und ist der Radius des Kreisringes gleich r mm, also der von ihm eingeschlossene Flächenraum gleich πr^2 qmm, so ist also, nach der oben definirten Einheit gemessen, die elektromotorische Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus in Folge der bezeichneten Drehung einen Strom in dem Kreisring inducirt,

$$e = \pi r^2 T.$$

Wird die bezeichnete Drehung nicht in 1, sondern in ∂ Secunden ausgeführt, so ist die dadurch in Thätigkeit gesetzte elektromotorische Kraft

$$e' = \frac{\pi r^2}{\partial} T.$$

Die elektromotorische Kraft, welche unter den bezeichneten Umständen einen Strom erzeugt, wird aber nach absolutem Maass gemessen

$$E = \frac{\Sigma}{\partial} T,$$

wenn an die Stelle des einzelnen Kreisringes eine Inductionsspirale (Inductionsrolle, Erdinductor) tritt und man mit Σ die Summe aller Flächenräume setzt, welche von den einzelnen Windungen der Spirale eingeschlossen werden.

Weber wandte zu seinen Widerstandsbestimmungen einen Erdinductor an, dessen Windungen auf einen sechseckigen Rahmen, ungefähr von der in Fig. 668 dargestellten Form, aufgewickelt waren. Der Umfang der innersten Drahtlage betrug 3067, der der äussersten 3170 mm. Der übersponnene Kupferdraht, welcher sammt Wolle 16 533 g wog, bildet 145 Windungen in sieben Lagen. Die Summe der von den einzelnen Windungen umschlossenen Flächenräume war nach Weber's Bestimmung

$$\Sigma = 104\,924\,000 \text{ qmm}.$$

In Fig. 669 stelle nun der verkürzt gezeichnete Kreis A schematisch einen um seine verticale Axe drehbaren Erdinductor dar, dessen Windungen sich vorerst noch in der Ebene des magnetischen Meridians befinden und dessen Drahtenden a und b leitend mit den Drahtenden c und d eines Multiplicators verbunden sind, welcher in unserer Figur

gleichfalls nur schematisch durch den verkürzt gezeichneten Kreis B dargestellt ist, und dessen Windungen ebenfalls in der Ebene des magnetischen Meridians liegen.

Für die in Rede stehenden Untersuchungen muss der Multiplicator gleichfalls von colossalen Dimensionen sein. Der Weber'sche bestand

Fig. 668.

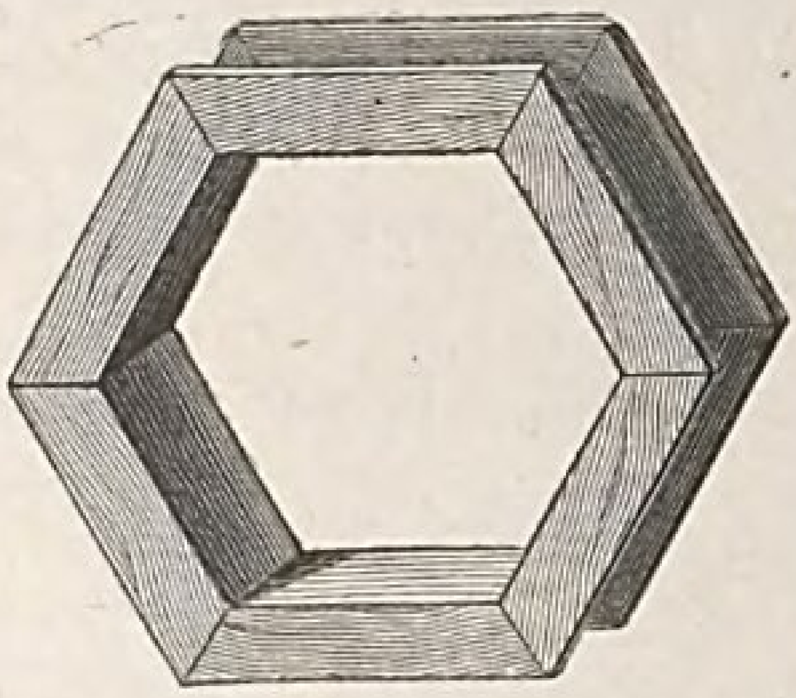
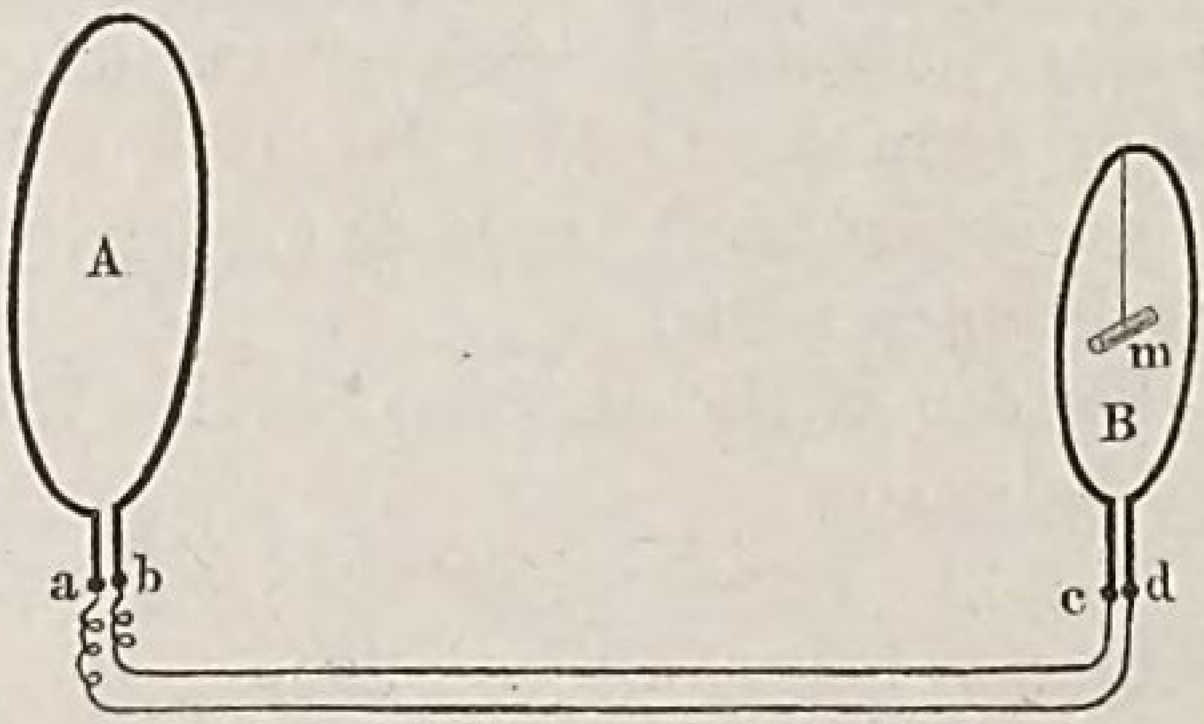


Fig. 669.



aus 1854 Windungen, welche 28 Lagen bildeten. Der Radius der innersten Lage betrug 303, der der äussersten betrug 374 mm. Das Gesammtgewicht des zu diesem Multiplicator verwendeten Kupferdrahtes sammt Wolle betrug 157 kg.

In der Mitte dieser Windungen hing eine Messinghülse, in welcher ein 6 cm langer, 6·2 mm dicker Magnetstab steckte und welcher nach Art der Magnetometer mit einem Planspiegel von 30 mm Durchmesser versehen war. So oft nun durch eine Drehung des Inductors A ein Strom inducirt wurde, durchlief derselbe die Windungen des Inductors und die des Multiplicators, da aber letzterer hinlänglich weit von dem ersteren aufgestellt war, so konnte nur der Strom im Multiplicator B ablenkend auf die Magnetnadel m wirken, deren Ablenkung ein Maass für die Stromstärke abgiebt.

Hätte man es mit einem beständigen Strome zu thun, welcher der Nadel eine gleichbleibende Ablenkung u ertheilt, so könnte man aus derselben nach §. 171 die in absolutem Maasse ausgedrückte Stromstärke s berechnen. Nun haben wir es aber nicht mit einem gleichbleibenden Strome zu thun, sondern mit einem solchen, welcher nur während der kurzen Zeit ∂ auf die Nadel wirkend ihr einen Impuls giebt, vermöge dessen sie um den Winkel v aus ihrer Gleichgewichtslage herausgeworfen wird, um dann nach derselben zurückzukehren und auf der anderen Seite nahe ebensoweit auszuschlagen (vorausgesetzt, dass den Schwingungen der Nadel keine Dämpfung entgegenwirkt). Aus diesem Ablenkungswinkel v ergiebt sich dann der Werth der Stromstärke

$$s = \frac{T \,.\, r' \,.\, t \,.\, tang\, v}{2\pi^2 \,.\, n \,.\, \partial},$$

wenn t die Schwingungsdauer des Magnetstabes, r' den mittleren Radius der Multiplicatorwindungen und n die Anzahl dieser Windungen be-

zeichnet. Dividiren wir diesen Werth von s in den obigen Werth von E, so erhalten wir für den Widerstand w des gesammten Stromkreises:

$$w = \frac{E}{s} = \frac{2\pi^2 \,.\, \Sigma \,.\, n}{r' \,.\, t \,.\, tang\, v} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Da $w = 1$ wird, wenn $E = 1$ und $s = 1$, so ist die Einheit des nach absolutem Maass gemessenen Leitungswiderstandes derjenige Widerstand, welchen der gesammte Schliessungsbogen leisten müsste, wenn die Einheit der nach absolutem Maass gemessenen elektromotorischen Kraft die nach absolutem Maass gemessene Stromstärke 1 hervorbringen sollte.

Bei der fraglichen Versuchsreihe Weber's war, wie wir bereits gesehen haben,

$$\Sigma = 104\,924\,000 \text{ und } n = 1854.$$

Ferner haben wir zu setzen

$$r' = 338 \text{ und } t = 10{\cdot}282.$$

Es bleibt uns nur noch übrig, die Bestimmung von v zu besprechen. Der Werth von v ergiebt sich, wenn man zuerst beobachtet, welcher Theilstrich der Scala am verticalen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohre erscheint, wenn der Magnetstab sich in seiner Ruhelage befindet, alsdann rasch den Inductor um 90^0 dreht und den Theilstrich beobachtet, welcher am Fadenkreuz erscheint, wenn der Magnetstab seine äusserste Gränzlage erreicht hat und zurückzuschwingen beginnt.

Da aber eine einzige Beobachtung dieser Art nicht die nöthige Genauigkeit bietet, so hat Weber das folgende Verfahren in Anwendung gebracht, welches er als Zurückwerfungsmethode bezeichnet. Dadurch, dass der Inductor aus seiner ursprünglichen Lage plötzlich um 90^0 gedreht wurde, wurde die Nadel in Schwingung versetzt und es wurde mit dem Fernrohre der Stand der Nadel bie ihrer grössten positiven Elongation, welche sie nach $\frac{1}{2}$ Schwingungsdauer erreichte, an der Scala beobachtet. Nach Verlauf von $1\frac{1}{2}$ Schwingungsdauern gelangte die Nadel zu ihrer grössten negativen Elongation, welche ebenfalls an der Scala beobachtet wurde. Hierauf wurde in dem Augenblick, wo die wieder vorwärts schwingende Nadel ihren ursprünglichen Ruhestand passirte, also 2 Schwingungsdauern nach Beginn der Versuche, der Inductor um 180^0 rückwärts gedreht. Die schwingende Nadel wurde dadurch mitten in ihrer Bewegung arretirt und rückwärts geworfen, worauf nun wieder zuerst ihre grösste negative und sodann ihre grösste positive Elongation an der Scala beobachtet wurde. Nach Verlauf von 4 Schwingungsdauern, in dem Augenblick, wo die Nadel, von ihrer letzten positiven Elongation zurückkehrend, ihren ursprünglichen Ruhestand passirte, wurde der Inductor wieder um 180^0 vorwärts bewegt, worauf die nämlichen Elongationsbeobachtungen gemacht wurden, wie das erste Mal. Auf diese Weise wurden die Versuche fortgesetzt, bis eine hinreichende Beobachtungsreihe erhalten worden war. In der folgenden Ta-

belle sind die Resultate einer solchen Beobachtungsreihe zusammengestellt. In der ersten Verticalreihe stehen die beobachteten Elongationen der Reihe nach unter einander. In der zweiten Columne sind die Mittelwerthe aus je zwei auf einander folgenden positiven und aus je zwei auf einander folgenden negativen Elongationen verzeichnet. In der dritten Columne endlich sind die Unterschiede der mittleren positiven und negativen Elongationen oder die Grösse der ganzen Schwingungsbogen angegeben.

467·1		
540·7		
	543·70	
546·7		
		80·10
461·4		
	463·60	
465·8		
		79·75
540·6		
	543·35	
546·1		
		79·25
462·3		
	464·10	
465·9		
		79·45
541·4		
	543·55	
545·7		
etc.	etc.	etc.

Der Mittelwerth für den ganzen Schwingungsbogen aus mehreren solchen Beobachtungsreihen war

79·8 Scalentheile,

die durch eine Drehung des Inductors um 90^0 bewirkte Elongation beträgt also

39·9 Scalentheile,

und danach ergiebt sich

$$tang\, v = \frac{39{\cdot}9}{2\,.\,4088} = 0{\cdot}00488,$$

da der Horizontalabstand des Spiegels von der Scala 4088 mm betrug.

Setzen wir nun für π, Σ, n, r', t und $tang\, v$ ihre Zahlenwerthe in Gleichung 1 auf Seite 730, so kommt

$$w = \frac{2\,.\,3{\cdot}1415^2\,.\,104\,924\,000\,.\,1854}{338\,.\,10{\cdot}282\,.\,0{\cdot}00488} = 215\,100\,000\,000$$

oder

$$w = 21{\cdot}51\,.\,10^8.$$

Mit Berücksichtigung aller nothwendigen Correctionen fand Weber

$$w = 2166\,.\,10^8,$$

d. h. nach absolutem Maass gemessen, war der Gesammtwiderstand des Erdinductors A, des Multiplicators B sammt den beiden Verbindungsdrähten gleich 2166 . 10^8. Um die Einheit zu bezeichnen, auf welche diese Zahl zu beziehen ist, wird dieselbe mit dem Beisatz $\frac{\text{Millimeter}}{\text{Secunde}}$ versehen.

Da jedoch diese Einheit unbequem klein ist, so nimmt man ein Vielfaches nach dem Decimalsystem davon, indem man sie mit 10^{10} multiplicirt. Man erhält so die Widerstandseinheit

$$10^{10} \frac{\text{Millimeter}}{\text{Secunde}} = 10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}} = \frac{\text{Erdquadrant}}{\text{Secunde}},$$

welche von der British Association mit dem Namen Ohmad oder Ohm bezeichnet wurde.

Für praktische Zwecke wurde von der British Association ein Etalon hergestellt, welcher aber wegen der Schwierigkeit der Messungen nicht ganz richtig ausgefallen ist.

Nach F. Kohlrausch ist nämlich

$$1 \text{ Siemens-Einheit} = 0{\cdot}9717 \frac{\text{Erdquadrant}}{\text{Secunde}}.$$

Nach H. Siemens ist:

$$1 \text{ Ohm (Etalon)} = 1{\cdot}0493 \text{ Siemens-Einheiten},$$

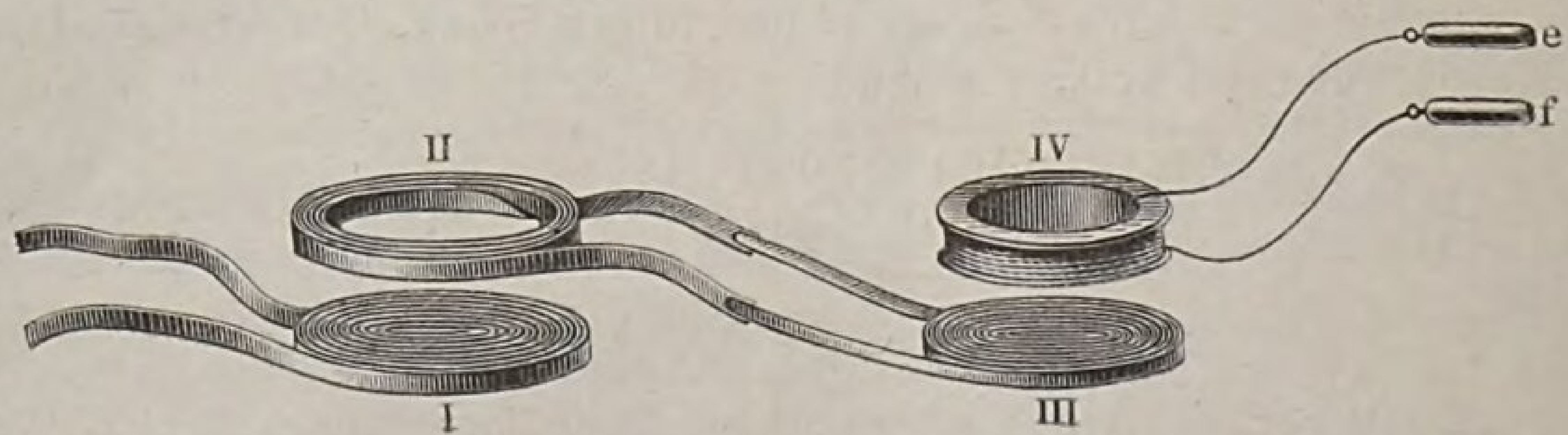
folglich wäre der von der British Association angenommene Etalon

$$1 \text{ Ohm (Etalon)} = 1{\cdot}0196 \frac{\text{Erdquadrant}}{\text{Secunde}}.$$

Die auf Seite 318 mitgetheilte Tabelle, welche auf älteren Angaben beruht, wäre hiernach zu modificiren. Die Jacobi'sche Widerstandseinheit und der Jacobi'sche Etalon sind übrigens ausser Gebrauch gekommen.

206 **Inductionsströme höherer Ordnung.** Henry hat nachgewiesen, dass ein Inductionsstrom im Stande ist, wieder inducirend auf eine geschlossene Spirale zu wirken. Der primäre Strom ging durch die 30 m lange Bandspirale (Fig. 670); über dieser befand sich die 20 m lange

Fig. 670.



Bandspirale II; die Enden von II waren mit denen einer dritten Bandspirale III verbunden, welche gleichfalls aus einem 20 m langen, aber nur 2 cm breiten Kupferstreifen gemacht war; da die Spirale III den Schliessungsbogen von II bildet, so muss in III der Strom circuliren, welcher in II durch den Einfluss der Stromunterbrechung in I inducirt wird. Der Strom in III konnte nun inducirend auf die Drahtrolle IV wirken. In der That bekam man bei Anfassung der Handhaben *e* und *f* kräftige Schläge.

Aehnliche Resultate wurden auch mit anderen Combinationen von Draht- und Bandrollen erhalten.

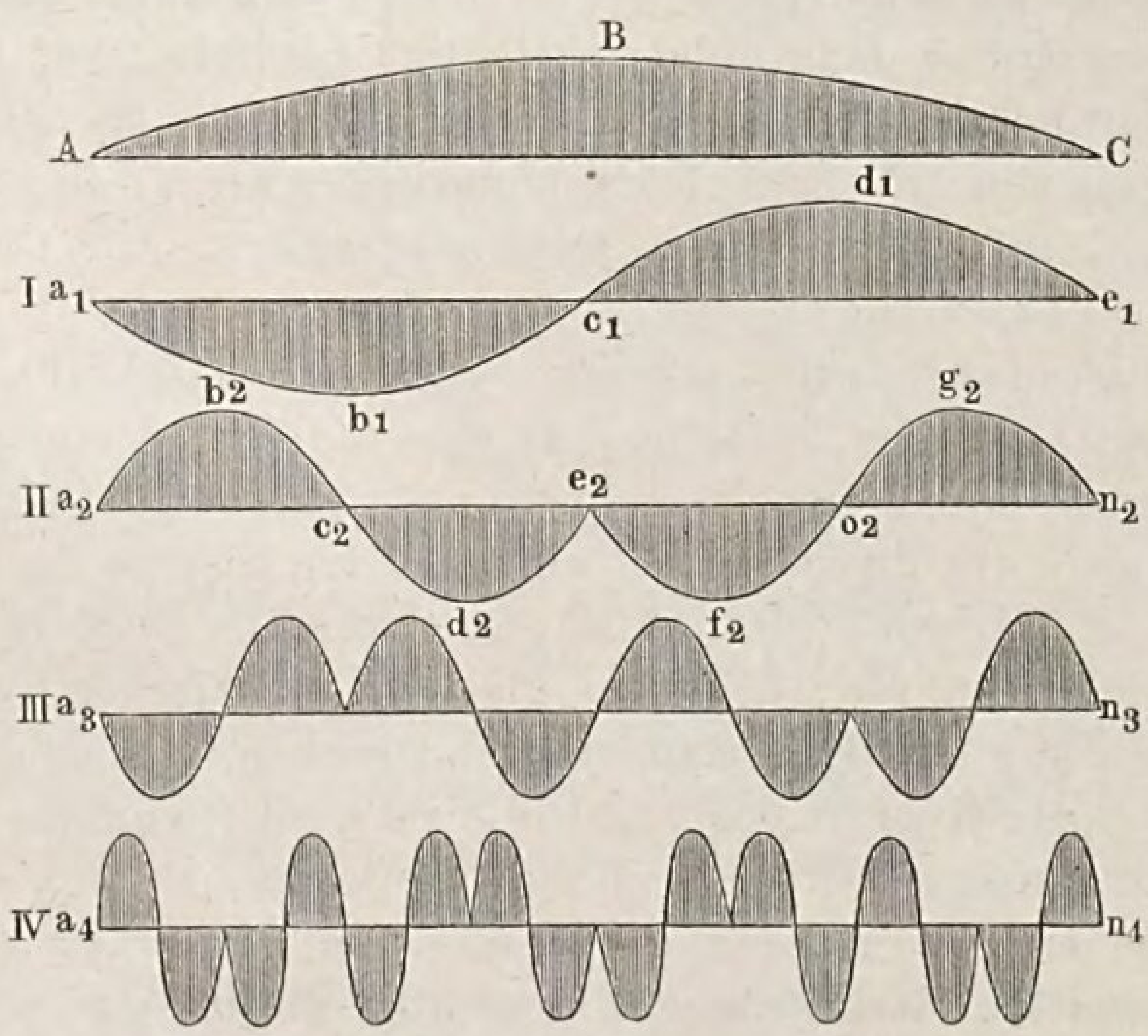
Nennt man den Strom in I den primären, so ist der in II und III der secundäre, der in IV endlich der tertiäre, oder es ist der Strom in IV ein inducirter Strom zweiter Ordnung, der in II und III ein inducirter Strom erster Ordnung.

Henry hat in gleicher Weise auch die Existenz von Inductionsströmen dritter und vierter Ordnung nachgewiesen.

Henry fand auch, dass zwischen zwei flachen Spiralen wie I und II, welche einander parallel gehalten sind, noch auf ziemlich bedeutende Entfernung hin eine inducirende Wirkung stattfindet.

Es ist leicht, den Verlauf der Ströme höherer Ordnung zu verfolgen, wenn man die Bildung von Extraströmen in den verschiedenen Spiralen unberücksichtigt lässt. In Fig. 671 stelle die Curve *ABC* den Verlauf

Fig. 671.



des Hauptstromes während der kurzen Dauer einer einzelnen Schliessung durch das Rheotom dar.

Während seines Entstehens inducirt der Hauptstrom einen entgegengesetzt gerichteten Strom erster Ordnung, dessen Verlauf durch die Curve

$a_1 b_1 c_1$ dargestellt ist, während der verschwindende Hauptstrom BC einen gleichgerichteten Strom $c_1 d_1 e_1$ im Nebendraht inducirt.

Die beiden Ströme $a_1 b_1 c_1$ und $c_1 d_1 e_1$ wirken aber ihrerseits wieder inducirend auf einen Draht zweiter Ordnung; der erstere inducirt die beiden Ströme $a_2 b_2 c_2$ und $c_2 d_2 e_2$, der Inductionsstrom $c_1 d_1 e_1$ aber inducirt die beiden Ströme zweiter Ordnung $e_2 f_2 o_2$ und $o_2 g_2 n_2$. In gleicher Weise fortschliessend ergeben sich für die Inductionsströme dritter und vierter Ordnung die Curven bei III und bei IV. Der kurz andauernde Hauptstrom ABC inducirt also 2 Ströme erster Ordnung, $4 = 2^2$ Ströme zweiter, $8 = 2^3$ Ströme dritter und endlich 2^n Ströme nter Ordnung.

In Folge ihrer kurzen Zeitdauer sind die Inductionsströme höherer Ordnung von grosser elektromotorischer Kraft und geben, durch den menschlichen Körper geleitet, heftige Schläge.

Für die Inductionsströme höherer Ordnung gilt ebenso wie für die der ersten Ordnung das Gesetz, dass der Quantität nach die directen (mit dem Hauptstrom gleichgerichteten) und die umgekehrten (die dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichteten) Inductionsströme einander ganz gleich sind, weshalb denn auch an keiner der Polplatten ein Kupferniederschlag sich bildet, wenn man in den Schliessungsbogen einer Inductionsspirale höherer Ordnung ein Voltameter einschaltet, welches mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt ist.

Dagegen ist die Intensität der directen und umgekehrten Inductionsströme höherer Ordnung durchaus nicht gleich, wie es nach Fig. 671 den Anschein haben könnte, bei deren Construction der Einfluss der nie fehlenden Extraströme ganz unberücksichtigt geblieben ist. Ob jedoch für irgend eine höhere Ordnung der Inductionsströme die directen oder die umgekehrten von grösserer elektromotorischer Kraft sein werden, lässt sich nicht wohl auf theoretischem, wohl aber auf experimentellem Wege ermitteln.

Henry liess die Inductionsströme verschiedener Ordnung durch eine kleine Drahtspirale gehen, in welche er eine Stahlnadel einlegte. Diese Stahlnadel wurde nun durch die Inductionsströme magnetisirt.

Da nun aber die directen und umgekehrten Ströme in Betreff der Quantität der Elektricität gleich sind, so kann die Magnetisirung der Nadeln nur daher rühren, dass bei gleicher elektrischer Quantität die intensiveren Ströme kräftiger magnetisirend wirken, wahrscheinlich weil durch sie die Coërcitivkraft des Stahles leichter überwunden wird. Aus der Polarität der magnetisirten Stahlnadeln ergiebt sich nun, dass für Inductionsströme erster, dritter etc. Ordnung die directen, für Inductionsströme zweiter, vierter etc. Ordnung aber die umgekehrten von überwiegender magnetisirender Kraft, also auch von grösserer Intensität sind.

Zu dem gleichen Resultat gelangte Masson auf folgendem Wege: Er schaltete in den Schliessungsbogen der Inductionsspirale höherer Ordnung ein Wasser-Voltameter ein, in welchem die Platinplatten durch

Wollaston'sche Platinspitzen (s. S. 200) ersetzt waren. Es entwickelt sich Knallgas an jeder der beiden Polspitzen, ein Beweis, dass die Quantität der nach der einen Richtung strömenden Elektricität derjenigen gleich ist, welche den Draht in der entgegengesetzten Richtung durchläuft. Als aber nach Verdet's Vorgang die Leitung an einer Stelle durch eine Luftschicht unterbrochen wurde, welche nur die intensiveren Ströme in Form von Funken übergehen liess, während sie die weniger intensiven zurückhielt, wurde an der einen Elektrode nur Sauerstoffgas, an der anderen nur Wasserstoffgas ausgeschieden. Die auf diese Weise ermittelte Richtung der intensiveren Ströme stimmt ganz mit derjenigen überein, welche sich aus den Versuchen von Henry ergiebt.

Weber's Theorie der Elektrodynamik. Weber hat ein allgemeines Gesetz der elektrischen Wirkung in die Ferne aufgestellt, welches sowohl die Elektrostatik wie die Elektrodynamik umfasst, und aus welchem sich das Inductionsgesetz als nothwendige Folge ergiebt. Die vollständige Entwickelung des Zusammenhanges zwischen den genannten elektrischen Fernwirkungen findet sich in den „Abhandlungen der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Leipzig 1846"; kürzer in Poggendorff's Annalen Bd. LXXIII, S. 193. Die Entwickelung der Grundzüge dieser Theorie findet sich in J. Müller's „Bericht über die neuesten Fortschritte in der Physik" S. 664 bis 675. Hier können nur einige Andeutungen gemacht werden. 207

Betrachten wir zwei Stromelemente A und B, deren Wechselwirkung wir untersuchen wollen, so haben wir in jedem derselben gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität, welche sich in entgegengesetzter Richtung bewegen. Wir haben also in den zwei Stromelementen, die wir betrachten, vier Wechselwirkungen elektrischer Massen, zwei abstossende zwischen den beiden positiven und den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zwei anziehende zwischen der positiven Masse in A und der negativen Masse in B, und ferner zwischen der negativen Masse in A und der positiven in B.

Jene beiden abstossenden Kräfte müssten, wenn die bekannten elektrostatischen Gesetze eine unbedingte Anwendung auf unseren Fall fänden, den beiden anziehenden Kräften gleich sein, weil die gleichartigen sich abstossenden Massen den ungleichartigen sich anziehenden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken.

Nun aber wirken zwei Stromelemente in der That anziehend oder abstossend auf einander; wenn also irgend ein Zusammenhang zwischen den Grundgesetzen der Elektrostatik und der Elektrodynamik stattfinden soll, so muss man annehmen, dass die gegenseitige Einwirkung elektrischer Massen durch ihren Bewegungszustand modificirt wird. Das statische Gesetz der elektrischen Anziehung und Abstossung bedarf also

einer Ergänzung, wenn die Gesetze der Elektrodynamik daraus abgeleitet werden sollen.

Nach dem elektrostatischen Gesetze lässt sich die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischer Massen ε und ε', deren gegenseitige Entfernung r ist, ausdrücken durch

$$\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2},$$

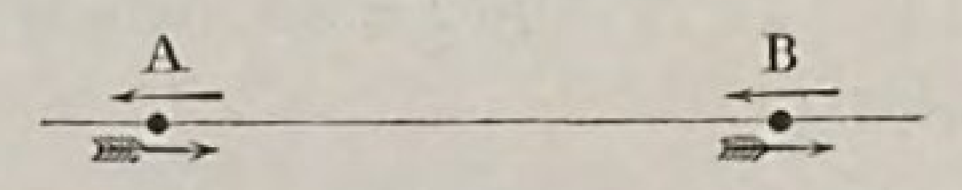
und dieser Ausdruck ist positiv zu nehmen (Anziehung), wenn ε und ε' entgegengesetzter Natur, negativ dagegen (Abstossung), wenn sie gleichgerichtet sind. Nach Weber's Theorie ist die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischer Theilchen aber nicht allein von ihrer Entfernung, sondern auch von ihrem relativen Bewegungszustande abhängig. Dem obigen Ausdrucke muss noch ein zweites Glied hinzugefügt werden, welches von der relativen Geschwindigkeit v, und ein drittes, welches von der relativen Beschleunigung g abhängig ist. Bei gegenseitiger Annäherung ist das zweite Glied negativ, das dritte positiv zu nehmen, die Gleichung, durch welche die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischen Theilchen ε und ε' auf einander ausgedrückt wird, ist demnach

$$\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,(1 - a\,v^2 + b\,g)\;.\;.\;.$$

Suchen wir nun aus dem durch diese Formel ausgedrückten Gesetze die gegenseitige Einwirkung zweier Stromelemente in zwei speciellen Fällen abzuleiten.

Zunächst wollen wir den Fall betrachten, wo die Richtung der beiden Stromelemente A und B mit der sie verbindenden Geraden zusammenfällt; die Ströme seien in beiden Elementen gleichgerichtet, wie Fig. 672 andeutet, wo die gefiederten Pfeile die positiven, die ungefiederten die negativen Stromtheilchen andeuten sollen. Die gleichnamigen Stromtheilchen in A und B bleiben in unveränderter Entfernung, für sie ist also v und g gleich Null, die Grösse, mit der die beiden positiven Stromtheilchen sich abstossen, ist also $-\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}$. Diesem ganz gleich ist auch die Einwirkung der beiden negativen Stromtheilchen.

Fig. 672.



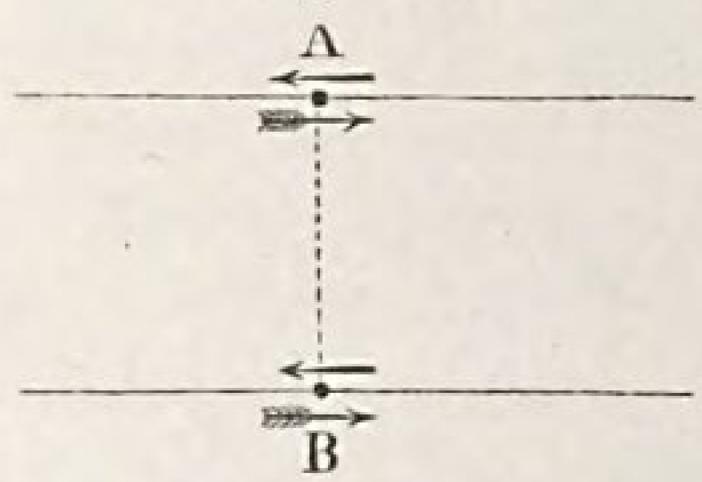
Das positive Stromtheilchen von A nähert sich aber mit gleichförmiger Geschwindigkeit dem negativen in B, mithin ist $g = 0$ und die Einwirkung dieser beiden Theilchen reducirt sich auf $\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,(1 - a\,v^2)$. Ebenso gross ist die Kraft, mit welcher das positive Stromtheilchen in B und das negative in A auf einander wirken; die Resultirende der vier einzelnen Kräfte ist also:

$$2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,(1 - a\,v^2) - 2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2} = -\,2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,a\,v^2,$$

d. h. es muss, übereinstimmend mit dem Ampère'schen Gesetz, eine Abstossung zwischen den Stromelementen A und B stattfinden.

Gehen wir zur Betrachtung paralleler, gleichgerichteter Ströme über, Fig. 673. Die gleichnamigen Stromtheilchen bleiben stets in gleicher Entfernung, für sie ist also v und g gleich Null; die Abstossung der beiden positiven Stromtheilchen sowohl wie die der beiden negativen ist also $\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}$. Die Stromtheilchen in A nähern oder entfernen sich von den ungleichnamigen in B mit ungleichförmiger Geschwindigkeit, folglich ist g nicht gleich Null; dagegen wird für zwei einander gerade gegenüber liegende ungleichnamige Stromtheilchen in A und B die relative Geschwindigkeit v gleich Null sein, denn vor ihrer Ankunft in diesem Punkte nähern sich die fraglichen Stromtheilchen mit abnehmender, nachdem sie ihn passirt haben, entfernen sie sich mit wachsender relativer Geschwindigkeit; in den Punkten A und B selbst muss also die relative Geschwindigkeit v gleich Null sein. Die Einwirkung eines positiven Stromtheilchens in einem Draht auf das gerade gegenüber liegende negative ist also:

Fig. 673.



$$\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,(1 + b\,g),$$

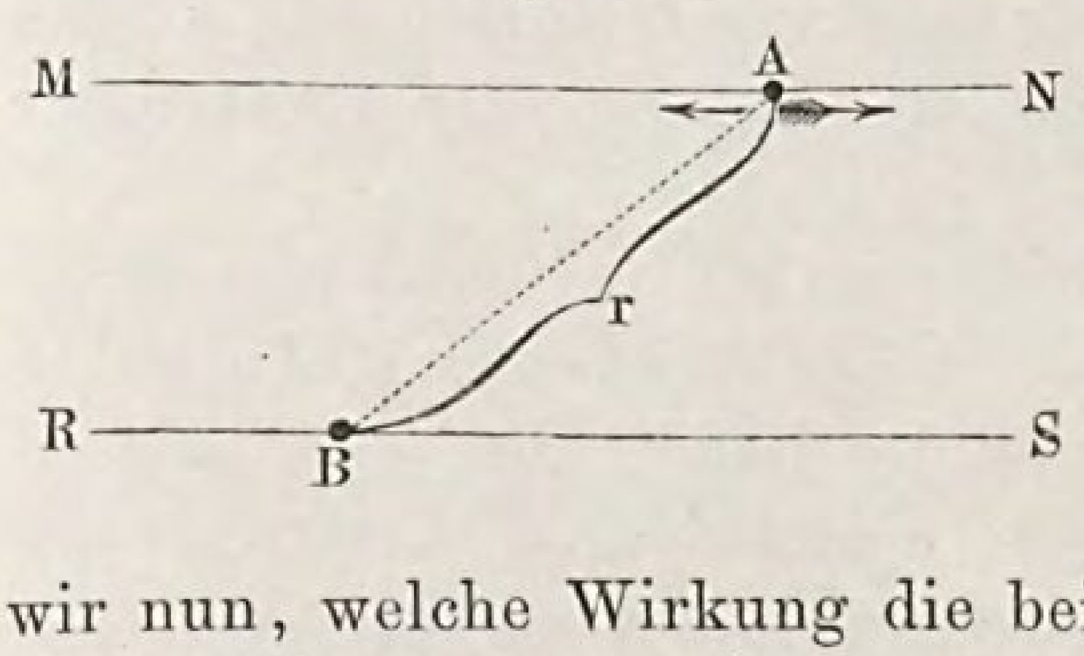
und die Summe der gegenseitigen Einwirkungen aller vier Stromtheilchen:

$$2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,(1 + b\,g) - 2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2} = 2\,\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}\,b\,g,$$

also eine Anziehung, wie es auch das Ampère'sche Gesetz verlangt.

Weber's Theorie der Induction ergiebt sich als noth- 208
wendige Folge der Weber'schen Theorie. Wir müssen uns begnügen, dies an einem speciellen, einfachen Fall der Art nach zum Verständniss zu bringen.

Fig. 674.



In Fig. 674 seien MN und RS zwei parallele Leitungsdrähte; RS sei stromlos, während in MN in einem bestimmten Augenblick ein Strom zu circuliren beginnt. — Sehen wir nun, welche Wirkung die beiden elektrischen Theilchen, welche in diesem Moment von A aus nach entgegengesetzten Seiten aus einander zu fahren beginnen, auf das Theilchen B des anderen Drahtes ausüben. Die relative Geschwindigkeit der elektrischen Partikelchen in A und B

ist für den Moment, wo der Strom beginnt, gleich Null, dagegen beginnt die Bewegung mit einer bestimmten Beschleunigung. Bezeichnen wir mit g die relative Beschleunigung des positiven Stromtheilchens in A gegen B, so ist sie für das negative gleich $-g$, und wir erhalten folgende Wechselwirkungen zwischen den elektrischen Theilchen in A und B, wenn wir die positive Elektricität in A und B mit $+e$ und $+e'$, die negative mit $-e$ und $-e'$ bezeichnen:

$$+e \text{ auf } +e' \quad -\frac{e\,e'}{r^2}(1 + b\,g)$$

$$+e \text{ auf } -e' \quad +\frac{e\,e'}{r^2}(1 + b\,g)$$

$$-e \text{ auf } -e' \quad -\frac{e\,e'}{r^2}(1 - b\,g)$$

$$-e \text{ auf } +e' \quad +\frac{e\,e'}{r^2}(1 - b\,g).$$

Die Summe dieser vier Wechselwirkungen ist Null, es findet also keine elektrodynamische Wirkung zwischen den beiden Leitungsdrähten statt. Dagegen ist die Summe der Wirkungen, welche auf $+e'$ ausgeübt werden, gleich

$$-2\,\frac{e\,e'}{r^2}\,b\,g;$$

die Summe der auf $-e'$ wirkenden Kräfte aber ist gleich

$$+2\,\frac{e\,e'}{g^2}\,b\,g;$$

auf die positive und negative Elektricität in B wirken also ungleiche Kräfte, und die Kraft, welche sie in der Richtung von r zu trennen strebt, ist die Differenz dieser Kräfte.

Die Kraft, welche die entgegengesetzten Elektricitäten nach der Richtung der Linie r zu trennen strebt, haben wir nun nach der Richtung SR zu zerlegen, um die elektromotorische Kraft zu erhalten, mit welcher der in MN entstehende Strom einen Strom in RS zu induciren strebt. Wie man sieht, wird beim Entstehen eines Stromes in MN jede Elektricität im Draht RS nach einer Richtung fortgetrieben, welche der entgegengesetzt ist, mit welcher sich die gleichnamige Elektricität in MN bewegt.

Gegen die elektrodynamische Theorie von Weber sind mehrfache Einwürfe von Thomson und Tait, insbesondere aber von H. Helmholtz erhoben worden. Wir sind hier nicht in der Lage, über die dadurch angeregte Controverse, sowie über die einschlägigen Arbeiten von C. Neumann, Stefan, Clausius, Fröhlich u. A. zu berichten. Die dabei aufgeworfenen Fragen sind heute noch nicht endgiltig entschieden und kaum von praktischer Bedeutung, da bisher keine Experimente gemacht wurden, welche Weber's Theorie widersprechen.

Uebersicht des absoluten magnetischen und elektrischen Maasssystems. Im Laufe unserer Darstellung haben wir mehrfach Gelegenheit gehabt, von den absoluten Maassen zu sprechen, welche von Gauss für die magnetischen, von Weber für die elektrischen Grössen eingeführt worden sind. Der Zweck der Einführung des absoluten Maasssystems ist darin zu suchen, dass ausser den willkürlich gewählten Einheiten der Länge (Meter), der Zeit (Secunde), und der Masse (Kilogramm) alle anderen rein willkürlichen Maasse eliminirt und demnach alle Messungen auf diese drei Grundmaasse bezogen und dadurch in ein einheitliches System gebracht werden. Diese Aufgabe ist noch nicht in allen Theilen der Physik durchgeführt, so z. B. bedienen wir uns in der Wärmelehre noch fast ausschliesslich einer Temperatureinheit und einer daraus abgeleiteten Wärmeeinheit, welche aus dem zufälligen Abstande des Siede- und Gefrierpunktes des Wassers abgeleitet ist, wobei der Siedepunkt noch überdies unter Zuhülfenahme einer Druckeinheit (Atmosphäre) definirt wird, welche selbst wiederum auf die willkürliche Wahl einer anderen Flüssigkeit und einer willkürlich festgestellten Höhe derselben (760 mm Quecksilber) gestützt wird. Die Schwierigkeit der Durchführung des absoluten Maasssystems in allen Theilen der Physik beruht weniger in der festen Angewöhnung an die hergebrachten Maasse, als in dem Umstande, dass die directe genaue Messung nach den theoretisch definirten Einheiten oft sehr schwierig oder auch unmöglich ist und die Anfertigung von genauen Maassetalons, welche mit den theoretisch definirten Einheiten übereinstimmen sollen, nicht mit derselben Genauigkeit durchführbar ist, wie die Messung nach den gebräuchlichen willkürlichen Maassen. So z. B. lässt sich ein Leitungswiderstand viel genauer mit der Siemens-Einheit vergleichen und messen, als diese sich mit der Weber'schen absoluten Einheit vergleichen lässt. Nichts desto weniger sind die Vortheile des absoluten Maassstabes bei näherer Bekanntschaft mit demselben so evident, dass seine Ausbreitung allen Vorschub verdient. Der *British Association for the advancement of science* gebührt das Verdienst, dem von Gauss und Weber begründeten magnetischen und elektrischen Maasssystem auch in technischen Kreisen Verbreitung verschafft zu haben. 209

Wir wollen hier die an zerstreuten Stellen über die absoluten magnetischen und elektrischen Maasse aufgestellten Definitionen nochmals geordnet zusammenstellen, um dadurch eine Uebersicht dieses Maasssystems zu gewähren. Nach dem Vorschlage von W. Thomson sollen dabei statt der unbequem kleinen von Gauss und Weber gebrauchten Einheiten für Länge und Masse (Millimeter, Milligramm) Centimeter und Gramm gebraucht werden. Neben diesem System ist auch das Meter - Gramm - Secunden - System (m - g - sec) im Gebrauche und wird durch die beigesetzten Buchstaben B. A. U. (*British Association Unity*) bezeichnet. Alle Grössen erscheinen im absoluten System als Function von Länge l, Masse m, Zeit t, welche Function die Dimension der be-

treffenden Grösse genannt wird. Z. B. ist die Dimension einer Fläche $= l^2$, eines Raumes $= l^3$, einer Geschwindigkeit $= \frac{l}{t}$, einer Kraft $= \frac{m\,l}{t^2}$. Die Angabe dieser Dimensionen erleichtert die Uebersicht und die Umrechnung von einem System zum anderen.

Die nun folgenden Maasseinheiten zerfallen in mehrere Gruppen. Die erste Gruppe A, die allgemeinen mechanischen Maasse umfassend, haben wir zwar schon im Nachtrage zum 1. Bande aus einander gesetzt, geben aber hier des Zusammenhanges wegen noch eine kurze Recapitulation derselben. Die Gruppe B umfasst die elektrostatischen Einheiten, welche sich aus den Erscheinungen der ruhenden Elektricität ohne Rücksicht auf die Wirkung von Strömen und Magneten ergeben und fast ausschliesslich theoretische Bedeutung haben. Die Gruppe C umfasst die von Gauss geschaffenen magnetischen Maasse, die Gruppe D endlich die aus den Wirkungen der Ströme auf einander und auf Magnete von Weber abgeleiteten elektromagnetischen Maasse, welche auch praktische Bedeutung erhalten haben, und welche man gewöhnlich meint, wenn einfach von absoluten Maassen gesprochen wird.

A. Mechanische Maasse.

Geschwindigkeit c ist das Verhältniss der zurückgelegten Weglänge l zur verflossenen Zeit t, $c = \frac{l}{t}$.

Einheit der Geschwindigkeit hat ein Punkt, welcher, wenn seine Geschwindigkeit constant bleibt, in 1 Secunde 1 cm zurücklegt.

Beschleunigung φ ist das Verhältniss zwischen der Geschwindigkeitsänderung zu der Zeit, welche während dessen verfliesst:

$$\varphi = \frac{c}{t} = \frac{l}{t^2}.$$

Einheit der Beschleunigung hat ein Punkt, dessen Geschwindigkeit per Secunde um 1 cm zunimmt.

Kraft f wird gemessen durch das Product der durch sie hervorgebrachten Beschleunigung φ eines Körpers mit seiner Masse m

$$f = \varphi\, m = \frac{l\,m}{t^2}.$$

Einheit der Kraft ist jene, welche der Masse von 1 g die Beschleunigung 1 giebt, d. h. auch, welche der Masse von 1 g in 1 Secunde die Geschwindigkeit 1 cm ertheilt.

Arbeit a ist das Product aus einer Kraft mit der Länge des in ihrer Richtung zurückgelegten Weges

$$a = f\,l = \frac{l^2\,m}{t^2}.$$

Einheit der Arbeit wird geleistet, wenn ein Punkt mit der Kraft 1 um 1 cm in deren Richtung verschoben wird.

B. Elektrostatische Maasse.
(Mechanische Maasse der Elektricität.)

Elektricitätsmenge q. Da die Menge q auf eine gleiche Menge q im Abstande l die Kraft $f = \frac{q^2}{l^2}$ ausübt, so ist

$$q = \sqrt{fl^2} = \frac{l^{3/2}\, m^{1/2}}{t}.$$

Einheit der Elektricitätsmenge ist hiernach diejenige Menge, welche auf eine ihr gleiche im Abstande von 1 cm die Kraft 1 ausübt.

Elektrostatisches Potential v. Das Potential der Elektricitätsmenge q auf einen im Abstande l befindlichen Punkt ist gegeben durch

$$v = \frac{q}{l} = \frac{l^{1/2}\, m^{1/2}}{t}.$$

Einheit des Potentials ist das Potential der Elektricitätsmenge 1 auf einen Punkt in 1 cm Abstand.

Elektrostatische Capacität k. Unter der Capacität eines Leiters versteht man das Verhältniss der auf ihm vorhandenen Elektricitätsmenge q zu dem dadurch erreichten Potentiale v, also

$$k = \frac{q}{v} = l.$$

Befindet sich auf einer Kugel vom Halbmesser l eine Elektricitätsmenge q, so übt sie auf den Mittelpunkt, also auch auf jeden anderen Punkt der Kugel das Potential $\frac{q}{l}$ aus. Ihre Capacität ist dann

$$k = q : \frac{q}{l} = l,$$

also gleich dem Halbmesser.

Einheit der Capacität ist demnach die Capacität desjenigen Leiters, welcher durch die Einheit der Elektricitätsmenge zum Potentiale $= 1$ geladen wird. Eine Kugel vom Halbmesser 1 cm besitzt demnach die Capacität Eins.

C. Magnetische Maasse.

Menge des freien Magnetismus μ (Stärke eines Magnetpoles). Da die Menge μ auf eine gleiche im Abstande l die Kraft $f = \frac{\mu^2}{l^2}$ ausübt, so ist

$$\mu = \sqrt{fl^2} = \frac{l^{3/2}\, m^{1/2}}{t}.$$

Einheit des freien Magnetismus ist diejenige Menge Magnetismus, welche auf eine gleich grosse Menge in 1 cm Abstand die Kraft 1 ausübt.

Magnetisches Moment M (Stabmagnetismus). Dasselbe ist gleich dem Abstande l der beiden Pole, multiplicirt mit dem freien Magnetismus eines Poles μ, also

$$M = l\mu = \frac{l^{5/2} m^{1/2}}{t}.$$

Einheit des magnetischen Moments oder des Stabmagnetismus hätte daher ein Magnetstab, welcher aus zwei Polen mit den freien Magnetismen $\pm \mu$ im Abstand 1 cm bestände. Damit identisch ist die Definition: Einheit des Stabmagnetismus besitzt ein Magnetstab, welcher auf einen gleichen Stab aus einer grossen Entfernung L in der 2. Hauptlage das Drehungsmoment $\frac{1}{L^3}$ ausübt.

Magnetische Intensität eines Ortes T ist jene Kraft, welche an einem Orte auf einen Magnetpol von der Stärke 1 ausgeübt wird:

$$T = \frac{m^{1/2}}{l^{1/2} t}.$$

Einheit der magnetischen Intensität ist an einem solchen Orte, wo auf einen Magnet vom Stabmagnetismus 1, der zur Kraftrichtung senkrecht steht, die Einheit des Drehungsmoments ausgeübt wird.

D. Elektromagnetische Maasse.

Stromstärke i. Ein Stromelement von der Länge l und der Stärke i wirkt auf den freien Magnetismus von der Menge μ, welcher sich im Abstande L in der Senkrechten auf die Stromrichtung befindet, mit der (transversalen) Kraft

$$f = \frac{l i \mu}{L^2},$$

also

$$i = \frac{f L^2}{\mu l}.$$

Da $\frac{L^2}{l}$ eine Länge ist, so ergiebt sich die Dimension

$$i = \frac{f l}{\mu} = \frac{l^2 m}{t^2} \cdot \frac{t}{l^{3/2} m^{1/2}} = \frac{l^{1/2} m^{1/2}}{t}.$$

Die Einheit der Stromstärke hat also jener Strom, welcher einen Leiter von der Länge l durchfliessend im Abstande L von einem Magnetpol 1 auf diesen die Kraft $\frac{l}{L^2}$ ausübt, oder einfacher lautend:

Die Einheit der Stromstärke hat jener Strom, welcher die Flächeneinheit (qcm) umfliessend sich in die Ferne verhält, wie ein zur Stromebene senkrechter kurzer Magnet vom Stabmagnetismus 1.

Elektromotorische Kraft e. Es sei an einem Orte von der magnetischen Intensität T ein geradliniger zur Richtung von T senkrechter Stromleiter von der Länge l vorhanden. Wird derselbe mit der Geschwindigkeit c in der Richtung bewegt, welche senkrecht steht auf der durch l und T gelegten Ebene, so entsteht in ihm durch Induction eine elektromotorische Kraft

$$e = l\,T c = \frac{l^{3/2}\,m^{1/2}}{t^2}.$$

Einheit der elektromotorischen Kraft ist also jene, welche in einem Leiter von der Länge eines Centimeters inducirt wird, wenn er an einem Orte, wo die magnetische Intensität 1 herrscht, unter obigen Verhältnissen mit der Geschwindigkeit = 1 cm per Secunde bewegt wird.

Leitungswiderstand r. Derselbe ist nach Ohm's Gesetz gleich dem Verhältniss der elektromotorischen Kraft zur Stromstärke, also

$$r = \frac{e}{i} = \frac{l^{3/2}\,m^{1/2}}{t^2} : \frac{l^{1/2}m^{1/2}}{t} = \frac{l}{t}.$$

Einheit des Widerstandes ist der Widerstand eines Leiters, in welchem die elektromotorische Kraft 1 die Stromstärke 1 erzeugt.

Mit Rücksicht auf die Gesetze der Erwärmung durch den elektrischen Strom und das Inductionsgesetz kann man den letzten Definitionen noch folgende einfache und wichtige Fassung geben:

Einheit der elektromotorischen Kraft ist diejenige, welche in einem Leiter bei der Stromstärke 1 per Secunde eine der Arbeitseinheit äquivalente Wärmemenge entwickelt.

Einheit des Widerstandes hat jener Leiter, in welchem bei der Stromstärke 1 per Secunde eine der Arbeitseinheit äquivalente Wärmemenge entwickelt wird.

Mittelst Stromstärke und elektromotorischer Kraft können dann auch Elektricitätsmenge und Capacität eines Condensators nach elektromagnetischem Maasse gemessen werden. Einheit der Elektricitätsmenge ist dann jene, welche bei der Stromstärke 1 per Secunde durch den Querschnitt des Leiters fliesst.

Einheit der Capacität besitzt jener Condensator, welcher mit der elektromotorischen Kraft 1 geladen die Elektricitätsmenge 1 aufnimmt.

Englische Autoren haben, wie wir theilweise schon mitgetheilt, die wichtigsten Einheiten mit den Namen von Physikern belegt und zwar die Widerstandseinheit mit Ohm, die elektromotorische Kraft mit Volt (Abkürzung von Volta), die Capacität mit Farad (Faraday), die Stromstärke lässt sich dann durch „Farad. per Secunde“, die Elektricitätsmenge durch „Farad. per Volt.“ ausdrücken, wenn man nicht vorzieht, damit den Namen Weber's zu verbinden.

Um der unbequemen Grösse oder Kleinheit der absoluten Einheiten abzuhelfen, sind decimale Multipla und Submultipla üblich, die durch

Benennung der Maasseinheiten		Meter, Gramm, Secunde (British Association)	Centimeter, Gramm, Secunde (W. Thomson)	Millimeter, Milligramm, Secunde (Gauss-Weber)	Betrag in willkürlichem Maasse
Widerstand	Megohm	10^{13}	10^{15}	10^{16}	= 1·0493 Siem.-Einh. (Quecksilber 1 m Länge, 1 qmm Querschnitt)
	Ohm	10^{7}	10^{9}	10^{10}	
	Mikrohm	10	10^{3}	10^{4}	
Elektrom. Kraft	Megavolt	10^{11}	10^{14}	10^{17}	= 0·9 Daniell (nahezu)
	Volt	10^{5}	10^{8}	10^{11}	
	Mikrovolt	10^{-1}	10^{2}	10^{4}	
Stromstärke	Megafarad per Secunde	10^{4}	10^{5}	10^{7}	= 10·54 Jacobi (Cub. Centim. Knallgas per Minute)
	Farad per Secunde	10^{-2}	10^{-1}	10	
	Mikrofarad per Secunde	10^{-8}	10^{-7}	10^{-5}	
Capacität	Farad	10^{-7}	10^{-9}	10^{-10}	
	Mikrofarad	10^{-13}	10^{-15}	10^{-16}	

den Zusatz von Mega oder Mikro bezeichnet werden. Nebenstehende Tabelle, welche theilweise dem Lehrbuche von Fleeming Jenkin entnommen ist, giebt eine Uebersicht dieser Maasse nach drei Systemen, welche sich durch die Wahl der Grundeinheiten für Länge und Masse unterscheiden.

Näheres hierüber in dem citirten Buche von Fleeming Jenkin (übersetzt von Fr. Exner), dann in F. Kohlrausch's prakt. Physik und in H. Herwig's „physik. Begriffe und absol. Maasse".

Die Grunderscheinungen des Diamagnetismus. Faraday machte die Entdeckung, dass genügend starke Magnete nicht allein auf Eisen, Mangan, Chrom, sondern allgemein auf alle Körper einwirken und zwar nicht etwa bloss insofern, als sie in leitenden Körpern, die sich bewegen, Inductionsströme erzeugen, sondern auch, wenn diese Körper nicht leiten und ruhig stehen. Dabei zerfallen alle Körper in zwei Classen. 210

Die eine Classe, deren hervorragender Repräsentant das Eisen ist, umfasst alle paramagnetischen Körper, die andere Classe umfasst die diamagnetischen Körper.

Während in der einem Magnetpole genäherten Stelle eines paramagnetischen Körpers ein entgegengesetzter Pol entsteht, welcher angezogen wird, entsteht in einem diamagnetischen Körper ein gleichnamiger Pol, welcher abgestossen wird. Ein Stäbchen eines paramagnetischen Stoffes stellt sich zwischen den Polen eines Magnets mit seiner Längsaxe in die Verbindungslinie der Pole (axial), ein Stäbchen eines diamagnetischen Körpers senkrecht auf die Verbindungslinie (äquatorial). Um dieses Verhalten der diamagnetischen Körper zu zeigen, bringt man ein Stäbchen von Wismuth, an Seidenfäden Fig. 675 so aufgehängt, dass seine Längsaxe horizontal ist und es sich in horizontaler Ebene frei drehen kann, zwischen die beiden Pole eines sehr kräftigen Elektromagnets; man beobachtet dann die merkwürdige Erscheinung, dass sich das Stäbchen rechtwinklig zu der Verbindungslinie der beiden Pole stellt und, aus dieser Lage herausgebracht, nach einigen Schwingungen stets wieder in dieselbe zurückkehrt.

Fig. 675.

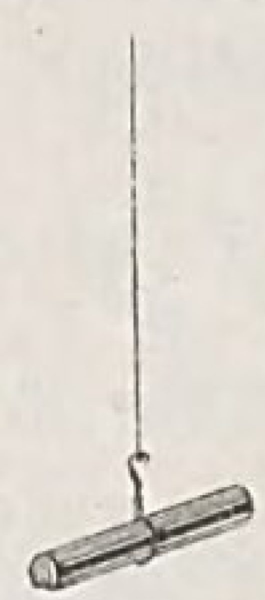
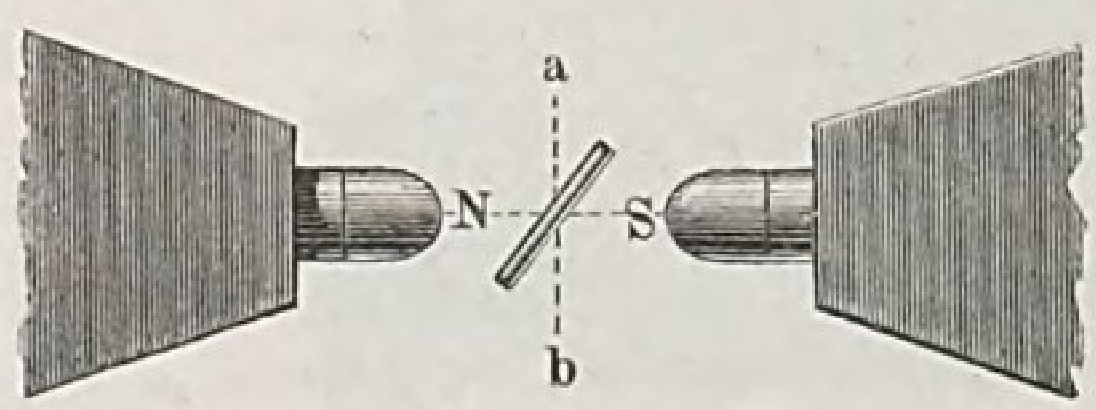


Fig. 676.



In Fig. 676 seien N und S die beiden Pole eines kräftigen Elektromagnets von oben gesehen, so ist ab die Lage, welche der Wismuthstab

einnimmt. Hätte man statt des Wismuthstäbchens einen Eisenstab zwischen den Polen aufgehängt, so hätte er sich in die Richtung gestellt, welche die Magnetpole verbindet.

NS heisst also die axiale, *ab* die äquatoriale Lage. Ein Eisenstab stellt sich also zwischen den beiden Magnetpolen axial, der Wismuthstab stellt sich äquatorial.

Um den Versuch mit dem grossen Elektromagnet Fig. 430, S. 477 anzustellen, versieht man die Halbanker mit den Polspitzen *N* und *S*. Um diese Polspitzen bequem anbringen zu können, sind die einander zugekehrten Enden *b* und *c* der eisernen Röhren *ab* und *cd* innen mit einem Schraubengewinde versehen, so dass man die abgerundeten Polspitzen hier einschrauben kann.

Selbst schwächere Elektromagnete, wie der in Fig. 428, Seite 476 abgebildete, genügen, um die äquatoriale Einstellung vieler Substanzen zu zeigen. Man legt zu diesem Zweck auf die Pole dieses Elektromagnets Halbanker von der Form Fig. 677, zwischen denen man das zu prüfende Stäbchen aufhängt. — Will man das aufgehängte Stäbchen vor Luftströmungen schützen, so kann man dasselbe mit einem Glaskasten umgeben. Fig. 678 zeigt eine zu diesem Zweck für den Elektromagnet Fig. 428, S. 476 in möglichster Einfachheit construirte Vorrichtung. Die Kanten des Glaskastens sind mit Papier verklebt. Die obere Glasplatte hat in der Mitte ein Loch, über welchem sich eine Glasröhre erhebt; an dem oberen Ende ist eine Fassung mit einem horizontalen drehbaren Stäbchen angebracht, an welchem der Seidenfaden hängt, der den zu untersuchenden Körper trägt. Durch Drehen dieses Stäbchens kann man den unten hängenden Körper beliebig heben und senken.

Fig. 677.

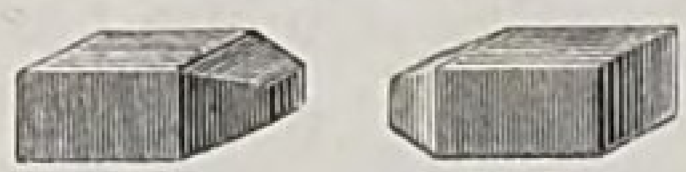
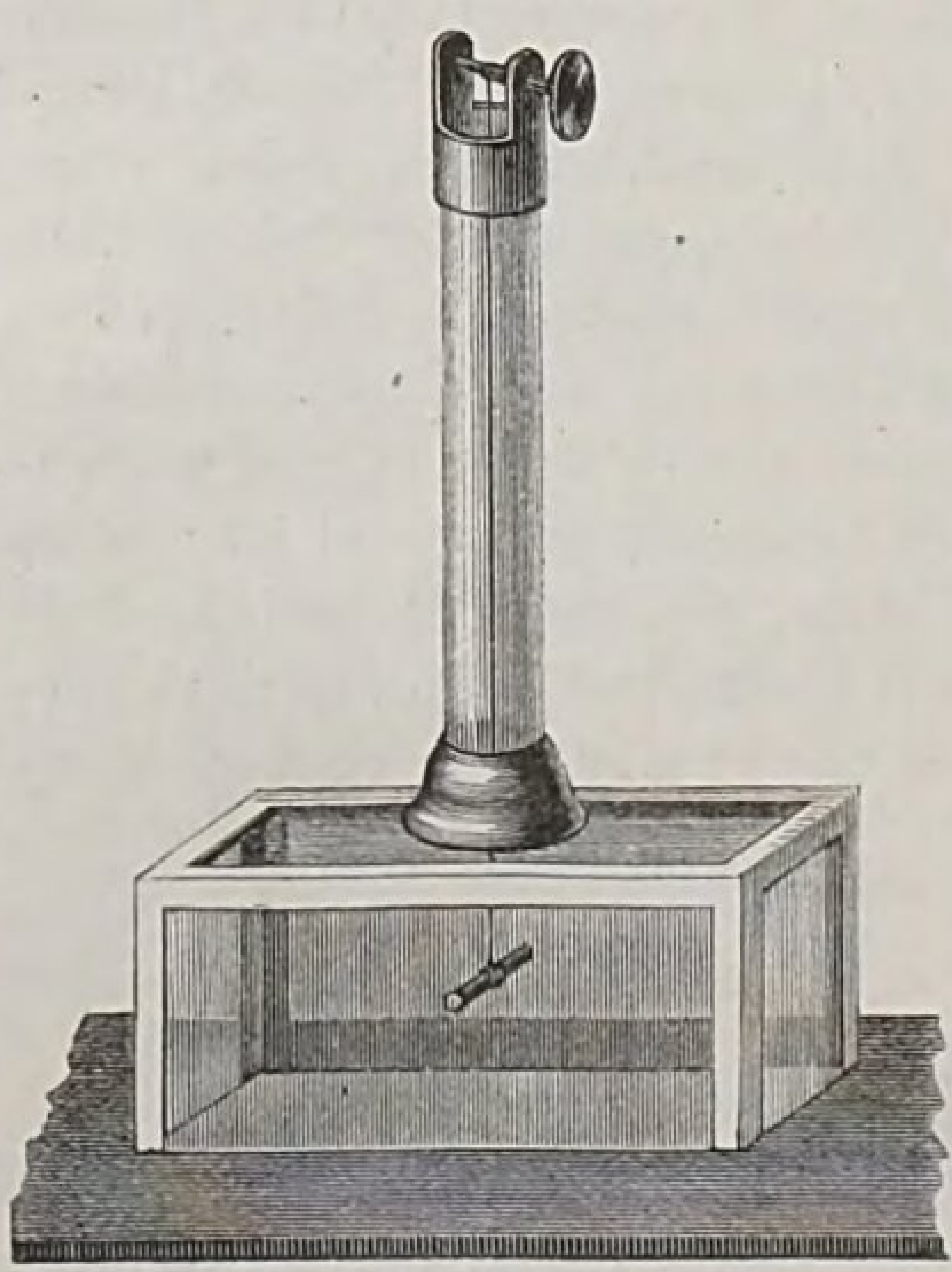


Fig. 678.



Die Glasröhre steckt unten in einer ringsum mit Tuch belegten Holzfassung, die auf die obere Glasplatte des Kästchens aufgeleimt ist; man kann also die ganze Glasröhre sehr sicher um ihre verticale Axe umdrehen und dadurch das Stäbchen in die beliebige Lage bringen.

Wenn das zu prüfende Stäbchen in gehöriger Weise zwischen den beiden Polspitzen aufgehängt und in einer Lage zur Ruhe gekommen ist, welche ungefähr zwischen der axialen und äquatorialen in der Mitte

liegt, so wird es, sobald man die Kette schliesst, welche den Elektromagnet in Thätigkeit setzt, entweder nach der axialen Lage getrieben, wie z. B. ein Platinstäbchen, oder nach der äquatorialen Lage, wie z. B. ein Wismuthstäbchen. Begreiflicher Weise kommt aber das Stäbchen nicht sogleich in seiner neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe, sondern es schwingt um diese Gleichgewichtslage mit einer Geschwindigkeit, die von der Stärke abhängt, mit welcher die Magnetpole einwirken. Bei einiger Stärke des Elektromagnets sind diese Oscillationen sehr lebhaft und unterscheiden sich dadurch sehr wesentlich von den äusserst langsamen Schwingungen des Stäbchens, welche eine Folge der schwachen Torsion des Seidenfadens sind; sobald man die Kette öffnet, oscillirt das Stäbchen wieder sehr langsam um seine frühere, durch den Faden bedingte Gleichgewichtsstellung.

Stellt man nun den Versuch in der angegebenen Weise mit Stäbchen verschiedener Substanzen an, so findet man, dass alle, wenn auch mit sehr ungleicher Energie, entweder äquatorial oder axial gestellt werden.

Durch Anwendung sehr kräftiger Elektromagnete ergiebt sich, dass die Classe der paramagnetischen Körper zahlreicher ist, als man durch die gewöhnlichen Prüfungsmittel nachweisen konnte; es stellen sich nämlich sehr schwach magnetische Körper, die sonst keine Spur von Magnetismus zeigen, zwischen den Polen kräftiger Elektromagnete noch axial. Faraday fand durch dieses Mittel, dass ausser den drei bekannten magnetischen Metallen auch noch Mangan, Chrom, Cer, Titan, Palladium, Platin und Osmium paramagnetisch sind.

Fast alle Eisenverbindungen erweisen sich zwischen den Polen des Elektromagnets als magnetisch, so z. B. Eisensalze und grünes Bouteillenglas.

Auch flüssige Körper zeigen sich entweder paramagnetisch oder diamagnetisch. Um sie dem Versuch zu unterwerfen, füllt man sie in dünnwandige Glasröhren, welche für sich allein mit so geringer Kraft äquatorial eingestellt werden, dass in den meisten Fällen die Einwirkung, welche die Magnetpole auf die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit ausüben, weitaus überwiegend ist. Sind solche Röhren mit einer Auflösung von Eisensalzen gefüllt, so stellen sie sich axial.

Diamagnetisch sind in abnehmender Stärke die Metalle:

Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Cadmium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Arsen, Uran, Rhodium, Iridium, Wolfram.

Von den Metalloiden: Tellur (sehr stark), dann Selen, Schwefel, Phosphor. Von zusammengesetzten Körpern: Wasser, Alkohol, Aether, Schwefelkohlenstoff, Säuren, eisenfreies Glas, besonders Flintglas, viele Salze und Mineralien, dann Oele, Wachs, Harze, Zucker, vegetabilische und animalische Körper.

Die äquatoriale Einstellung diamagnetischer Stäbchen rührt offenbar von einer abstossenden Wirkung her, welche die Magnetpole auf die Substanz derselben ausüben.

Die Abstossung diamagnetischer Körper durch die Magnetpole lässt sich am auffallendsten folgendermaassen zeigen. Man hänge an den Seidenfaden statt des Stäbchens eine kleine Kugel von 2 bis 6 mm Durchmesser, deren Substanz sehr stark diamagnetisch ist, also etwa ein Kügelchen von Wismuth. Die Pole S' und N nähert man nun so weit, dass sie nur unbedeutend mehr von einander abstehen, als der Durchmesser des Kügelchens beträgt. So lange die Kette nicht geschlossen ist, kann man machen, dass das Kügelchen gerade in der Mitte zwischen den beiden Polen hängt; sobald man aber die Kette schliesst, wird das Kügelchen seitwärts zwischen den beiden Spitzen herausgetrieben, so dass der Faden, an dem es hängt, merklich von der verticalen Richtung abgelenkt ist. Beim Oeffnen der Kette fällt das Kügelchen wieder zurück.

Es ist dies ein Beweis einer kräftigen Abstossung, welche beide Polspitzen auf das Kügelchen ausüben.

Plücker beobachtete die auffallende Erscheinung, dass ein Kohlenstäbchen sich axial zwischen die Polspitzen eines Elektromagnets stellte, so lange nur ein schwacher Strom die Spiralen durchlief; sobald aber durch stärkere Ströme ein kräftiger Magnetismus in den Eisenkernen erzeugt wurde, nahm das Kohlenstäbchen die äquatoriale Stellung ein.

Durch Zusammenschmelzen von Stanniol, der wahrscheinlich wegen seines Eisengehaltes magnetisch war, mit Wismuth gelang es ihm, Stäbchen anzufertigen, die sich gleichfalls zwischen schwachen Magnetpolen axial, zwischen starken äquatorial stellten.

Es ist dies die Folge eines ganz schwachen Eisengehaltes. Plücker zeigte, dass überhaupt die magnetischen Substanzen, denen eine ganz geringe Menge Eisen beigemischt ist, sich schwachen Magnetpolen gegenüber paramagnetisch verhalten, von stärkeren aber abgestossen werden.

Diese auf den ersten Anblick sehr auffallende Erscheinung findet eine sehr einfache Erklärung durch die von J. Müller nachgewiesene Thatsache, dass das Eisen nicht über eine bestimmte Gränze hinaus magnetisirt werden kann, und dass für geringe Eisenmassen schon schwache magnetisirende Kräfte hinreichen, das Maximum des Magnetismus zu erzeugen. Bedenken wir nun, welch geringe Massen magnetischer Substanzen in den Körpern vertheilt sind, mit welchen Plücker experimentirte, so dürfen wir wohl annehmen, dass dieselben schon bei geringerer Stromstärke nahe bis zu ihrem Maximum magnetisirt sind, dass also die Variationen der Stromstärke keinen bedeutenden Einfluss mehr auf sie ausüben können, während der Diamagnetismus der ungleich grösseren Masse nicht magnetischer Substanzen der Stromstärke proportional wächst.

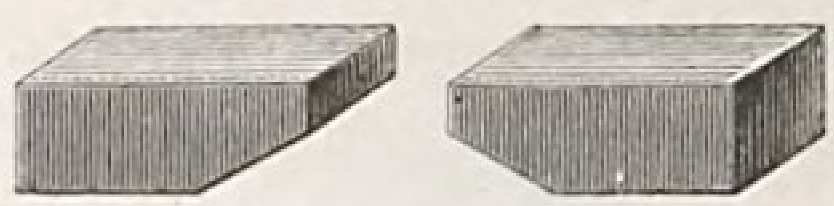
Sehr interessante Erscheinungen beobachtete Plücker, als er Flüssigkeiten in folgender Weise dem Einfluss der Pole eines Elektromagnets aussetzte. Auf jeden der Pole wurde ein eiserner Halbanker von der Fig. 679 dargestellten Form gelegt, und zwar so, dass die zu-

geschärften Seiten einander zugekehrt sind. Auf den Zwischenraum zwischen den beiden Halbankern wurde nun ein Uhrglas gesetzt, welches die Flüssigkeit enthielt.

Um den Versuch mit dem grossen Elektromagnet, Fig. 430, S. 477, anzustellen, kann man die Vorrichtung Fig. 657, S. 717, in Anwendung bringen.

Eisenfeilspäne häufen sich an den Kanten der Magnetstäbe am stärksten an, und es liess sich erwarten, dass magnetische Flüssigkeiten, in der erwähnten Weise über die Pole des Elektromagnets gebracht, sich über den Kanten der Halbanker anhäufen würden. Der Versuch bestätigte dies vollkommen.

Fig. 679.



In das Uhrglas wurde eine concentrirte Auflösung von Eisenchlorid gebracht, welche einen Kreis von 25 mm Durchmesser bildete. Sobald durch Schliessung des Stromes die Halbanker in Magnetpole verwandelt werden, krümmt sich die vorher ebene Oberfläche der Flüssigkeit in der Weise, dass sie über den Kanten der Halbanker aufsteigt und hier kleine Hügel bildet. Sind die Halbanker etwas weiter von einander entfernt, wie Fig. 680, so bilden sich zwei Hügel, welche durch ein Thal von einander getrennt sind; wenn aber die beiden zugewendeten Kasten der Halbanker sehr genähert sind, wie dies Fig. 681 darstellt, so fallen die

Fig. 680.

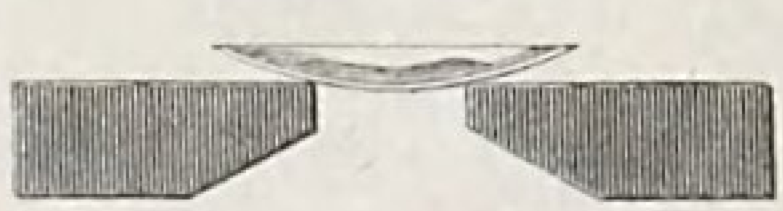
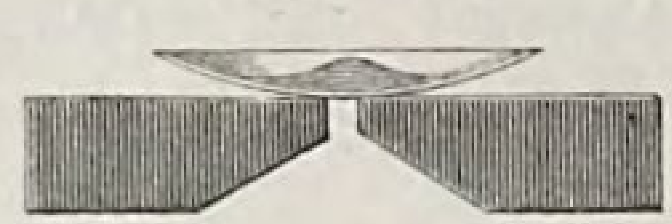


Fig. 681.



beiden Hügel in einem einzigen zusammen. In letzterem Falle muss man die beiden Halbanker durch ein Stückchen Holz aus einander halten, damit sie nicht zusammenfahren.

Eine Lösung von Eisenchlorür zeigte sich schwächer magnetisch, noch schwächer eine solche von Eisenvitriol. Eine Lösung von salpetersaurem Nickeloxyd ist stärker magnetisch als die Lösung des Eisenvitriols.

Plücker unterwarf nun auch diamagnetische Flüssigkeiten demselben Verfahren. Als die Anker bis auf 2·5 mm genähert waren, dehnte sich die Flüssigkeit nach der axialen Richtung aus, während sie sich nach der äquatorialen zusammenzog. Oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern bildete sich statt des früheren Bergrückens ein in der Aequatorialebene sich hinziehendes Thal. — Bei diamagnetischen Flüssigkeiten zeigt sich also ein Zurückweichen von den Kanten der Halbanker, doch sind die Wirkungen schwächer als bei magnetischen Flüssigkeiten.

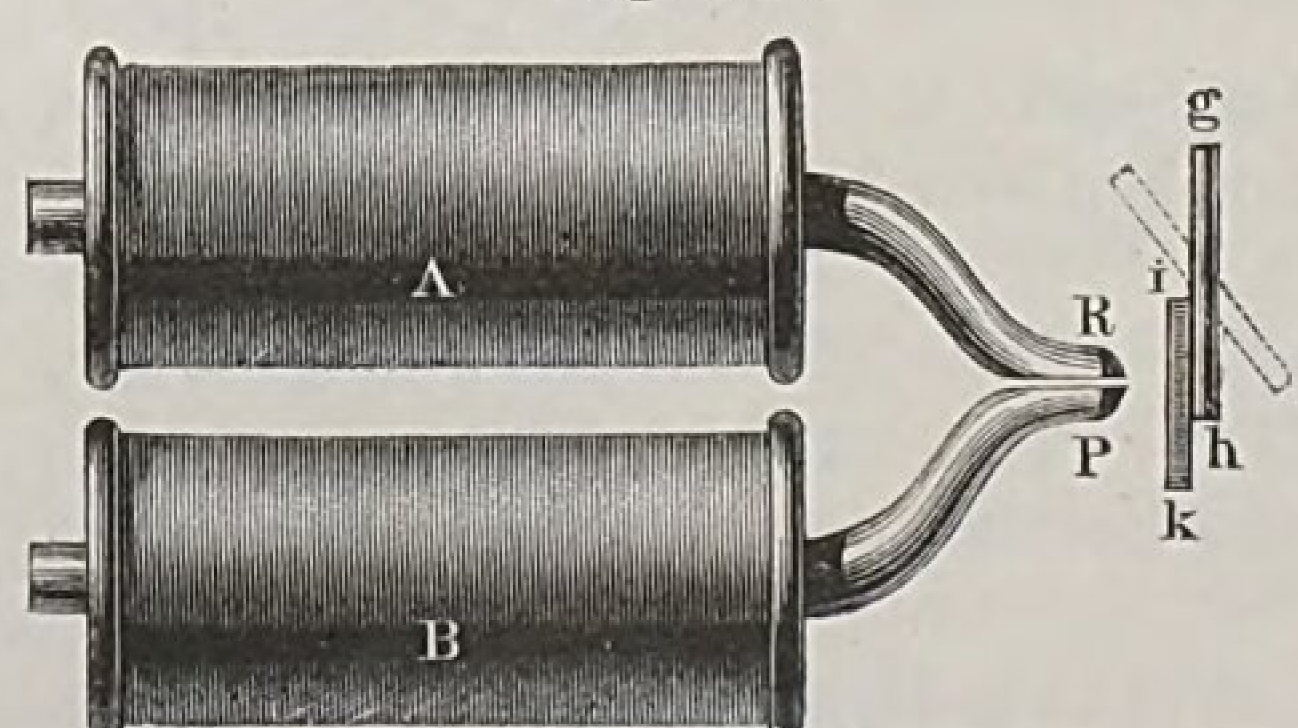
Stärkere Wirkungen als bei Anwendung eines Uhrglases erhält man, wenn man kleinere Quantitäten von Flüssigkeit auf ein Glimmerblatt bringt und dies auf die etwa 3 mm von einander entfernten Halbanker legt.

211 **Theorie des Diamagnetismus.** Das Verhalten der diamagnetischen Körper gegen Magnetpole liesse sich wohl, wie Faraday bemerkt, durch die Annahme erklären, dass in einem solchen Körper, also z. B. in einem Wismuthstäbchen, durch die Nähe eines Magnetpols Ströme erzeugt werden, welche den Ampère'schen Strömen des Magnets entgegengesetzt sind, so dass gleichnamige Pole einander gegenüber zu stehen kämen, während in magnetischen Metallen mit dem Magnet gleichgerichtete Ströme gebildet werden, so dass sich ungleichnamige Pole einander gegenüberstehen. Dies würde den Strömen in diamagnetischen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche beim Beginn des inducirenden Stromes in benachbarten Leitern inducirt werden, und in den magnetischen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören desselben inducirenden Stromes entstehen. Faraday hat diese Ansicht aber weder ausgebildet noch festgehalten, sondern gegen die von einer indifferenten Repulsion vertauscht.

Eine Wismuthkugel wird sowohl vom Nordpol als auch vom Südpol eines Magnets abgestossen. Wenn aber hier eine indifferente Abstossung stattfände, so müsste ein Nordpol und ein Südpol, von derselben Seite her einer Wismuthkugel genähert, sich in ihren abstossenden Wirkungen unterstützen; Reich und später Tyndall haben aber gezeigt, dass die Wirkungen der beiden Pole sich in diesem Falle neutralisiren, dass also die frühere Ansicht Faraday's die richtige ist.

Der Apparat, mit welchem Tyndall dies nachwies, ist Fig. 682 schematisch dargestellt. A und B sind zwei kräftige Magnetisirungsspiralen, in denen Stäbe von weichem Eisen stecken, die auf der einen Seite wieder hervorragen und so umgebogen sind, wie die Figur zeigt. Die nur halb cylindrischen Enden P und R dieser Eisenstäbe sind mit ihren flachen Seiten ganz nahe zusammengerückt.

Fig. 682.



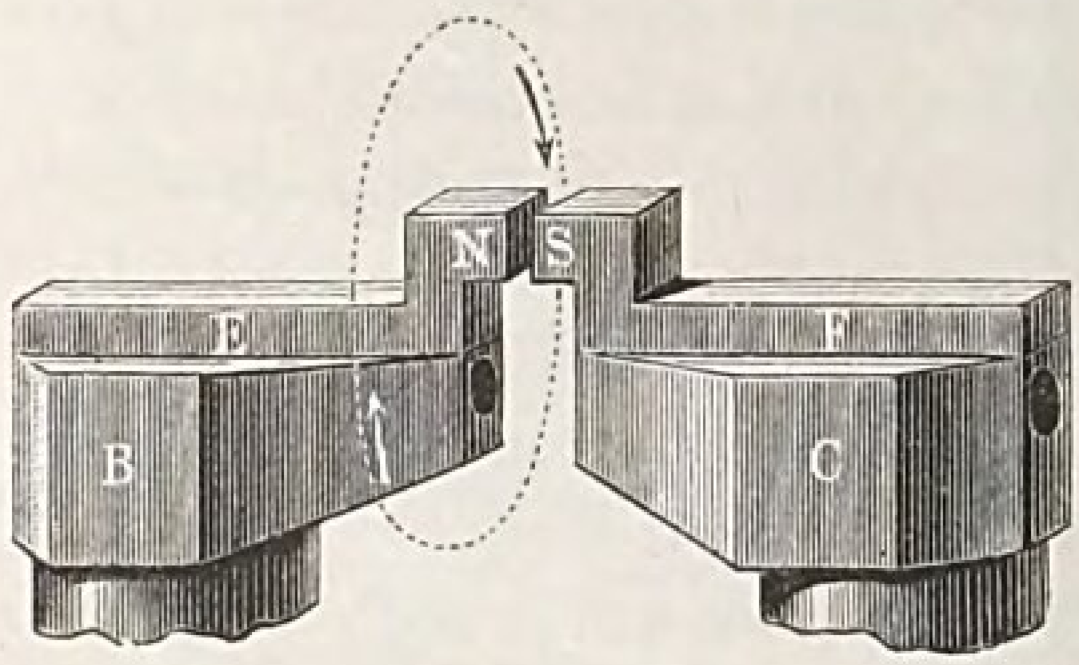
Diesen Polen gegenüber ist nun ein Wismuthstab gh an einem Seidenfaden so aufgehängt, dass er durch eine schwache Torsion gegen eine Glasplatte ik angedrückt wird.

Wird nun ein Strom so durch die Windungen der beiden Spiralen gesandt, dass P und R gleichnamige Pole werden, so wird der Wismuthstab abgestossen; wird aber alsdann der Strom in der einen Spirale umgekehrt, so dass P und R zu ungleichnamigen Polen werden, so findet gar keine Einwirkung auf das Wismuthstäbchen gh statt.

Tyndall schloss weiter, dass die diamagnetische Abstossung im einfachen Verhältniss der Stromstärke wachsen müsse, wenn sie eine Wirkung des Magnetpols auf die unveränderte Substanz des dia-

magnetischen Körpers wäre, dass sie dagegen im quadratischen Verhältniss der Stromstärke wachsen müsse, wenn die Abstossung die Folge einer durch den Magnetpol im Wismuth erst hervorgerufenen Polarität ist. Tyndall zeigte nun durch Versuche, dass in der That das letztere der Fall ist. Den Versuch stellte er in der Weise an, dass er ein Wismuthstäbchen zwischen parallel gestellten ebenen Polflächen aufhing, etwa zwischen solchen wie N und S, Fig. 683, die aber zu diesem Zweck etwas weiter auseinander gerückt werden müssen. Ein zwischen ihnen aufgehängter Wismuthstab stellt sich äquatorial, sobald ein Strom durch die Umwindungen des Elektromagnets hindurchgesandt wird. Aus dieser äquatorialen Stellung etwas herausgebracht, oscillirt er um diese Gleichgewichtslage, und zwar um so schneller, je grösser die Kraft ist, mit welcher die Magnetpole das Wismuthstäbchen abstossen; aus der Zahl der Schwingungen, welche das Wismuthstäbchen in einer bestimmten Zeit vollendet, kann man also einen Schluss auf die Stärke jener Abstossung ziehen. Man braucht also nur den Elektromagnet der Reihe nach durch verschieden starke Ströme zu erregen und jedesmal die entsprechenden Oscillationen des Wismuthstäbchens zu beobachten, um zu dem bereits oben angedeuteten Resultate zu gelangen.

Fig. 683.



Reich hat das von Tyndall aufgefundene Gesetz auf einem ganz anderen Wege, und zwar mit Hülfe der Drehwage, deren er sich zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde bedient hatte, vollkommen bestätigt gefunden (Pogg. Annal. Bd. LCVII, S. 283).

Alle bis jetzt besprochenen diamagnetischen Abstossungen deuten darauf hin, dass in einem diamagnetischen Körper unter dem Einfluss einer magnetisirenden Kraft eine magnetische Polarität hervorgerufen wird, welche derjenigen entgegengesetzt ist, welche unter denselben Umständen ein Eisenstab würde angenommen haben.

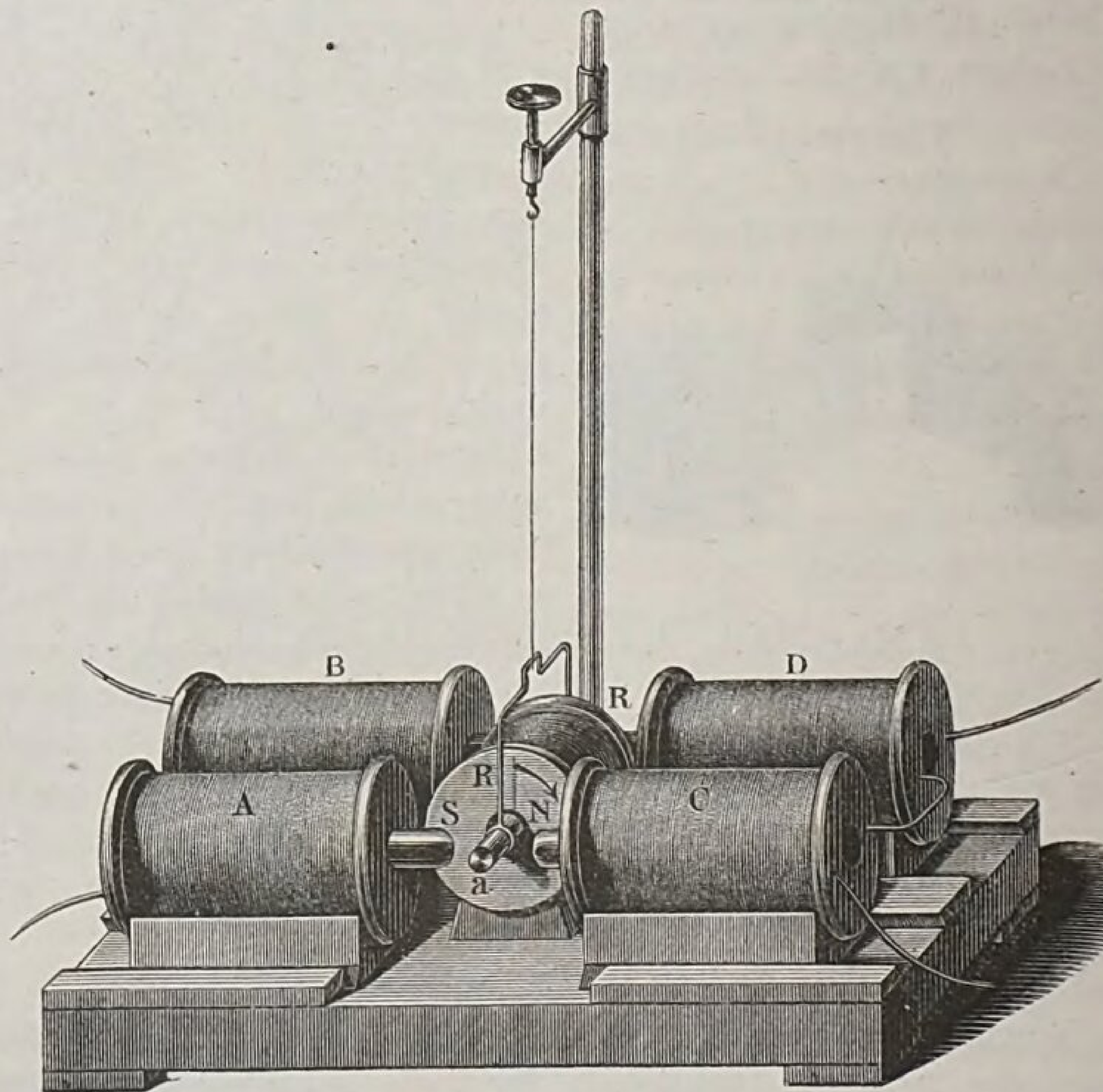
Dass in der That eine solche Polarität in einem diamagnetischen Körper durch magnetisirende Kräfte inducirt wird, hat am unzweifelhaftesten Tyndall mit Hülfe des folgenden Apparates, Fig. 684 (a. f. S.), nachgewiesen (Phil. Trans. 1855).

Ein Wismuthstäbchen, welches in einem aus Silberdraht verfertigten, an einem Seidenfaden hängenden Bügel steckt, schwebt frei in der inneren Höhlung der kurzen, aber dicken Magnetisirungsspirale R. Das vorn aus der Spirale R hervorragende Ende a des Wismuthstäbchens befindet sich in der Mitte zwischen den einander zugekehrten Polen der Elektro-

magnete A und C, während das hintere Ende in gleicher Weise zwischen den Polen der Elektromagnete B und D schwebt.

Wird nun durch die Spirale R ein Strom in der Richtung des Pfeils hindurchgesendet, so wird dadurch das Wismuthstäbchen diamagnetisch

Fig. 684.



erregt. Wird nun ferner ein Strom durch die Windungen der Elektromagnete so hindurchgesendet, dass A und B ihre Südpole, C und D aber ihre Nordpole gegen das Wismuthstäbchen kehren, so erfolgt eine Ablenkung desselben in der Art, dass a sich gegen S hin bewegt. a ist demnach ein Nordpol, während offenbar, wenn an der Stelle des Wismuthstäbchens ein Eisenstäbchen gewesen wäre, bei der angegebenen Richtung des Stromes R sich in a ein Südpol gebildet hätte.

Wird der Strom gleichzeitig in vier Spiralen A, B, C und D umgekehrt, so dass nun in S ein Nordpol, in N ein Südpol entsteht, so wird das Wismuthstäbchen nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt.

Zum Gelingen dieses Versuches ist es nothwendig, dass die magnetisirende Kraft der Spirale R überwiegend ist über die Wirkung der Elektromagnete A, B, C und D, welche sonst die von R hervorgebrachte Polarität des Wismuthstäbchens umkehren würden. Wenn der Strom von 15 Bunsen'schen Bechern durch die Spirale R ging, so waren nur fünf solcher Becher zur Erregung der vier Elektromagnete nöthig.

Zur Erklärung der unter dem Einfluss magnetisirender Kräfte in diamagnetischen Körpern sich bildenden Polarität hat Weber folgende Theorie aufgestellt:

Nähert man einem Magnetpol einen Leiter, so werden in demselben nach den bekannten Gesetzen der Induction Ströme gebildet, welche den Ampère'schen Strömen des Magnets entgegengesetzt sind; wird z. B. ein Kupferstäbchen dem Nordpol eines Magnets genähert, so wird das dem Magnet zugekehrte Ende des Kupferstückes durch diese inducirten Ströme, wenn auch nur vorübergehend, selbst zu einem Nordpol.

Durch Annäherung gegen einen Magnetpol wird also ein Wismuthstab durch Induction in einen polaren Zustand versetzt, welcher demjenigen ganz gleich ist, welchen wir zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen annehmen müssen. Bekanntlich sind aber die Ströme, welche in der Masse eines Leiters inducirt werden, wenn er einem Magnetpole genähert wird, nur vorübergehend, sie verschwinden alsbald, wenn der Leiter ruhig in seiner Stellung gegen den Magnet verbleibt; um also die Erscheinungen des Magnetismus zu erklären, kommt es darauf an, zu zeigen, wie es möglich ist, dass dieser bei der Annäherung gegen den Magnetpol hervorgerufene Zustand ein bleibender sein kann, so lange sich der Leiter dem Magnetpol gegenüber befindet.

Wären in dem Wismuth magnetische Fluida vorhanden, wie im Eisen, oder wäre, was auf dasselbe hinauskommt, jedes Wismuthmolecül schon von einem continuirlichen Strome umkreist, wie wir uns die Ampère'schen Ströme um die Eisenmolecüle denken, so könnte die Einwirkung eines Magnetpols durchaus keine andere Wirkung hervorbringen, als wie beim Eisen auch, d. h. er müsste die Fluida in der bekannten Weise scheiden oder er müsste die schon vorhandenen Molecularströme denen des einwirkenden Magnetpols parallel stellen, kurz, auf schon vorhandene, durch den Magnet erst zu richtende Molecularströme lassen sich die Erscheinungen des Diamagnetismus nicht zurückführen.

Die Ströme, welche dem diamagnetischen Körper seine Polarität ertheilen, müssen also erst bei der Annäherung gegen einen Magnetpol, oder dadurch, dass der Magnetismus in demselben entsteht, gebildet werden; sie dürfen aber nicht vorübergehend sein, wie die gewöhnlichen in der Masse von Leitern inducirten Ströme, sondern sie müssen beharrlich sein, sie müssen so lange andauern, als der diamagnetische Körper dem Magnetpole gegenüber bleibt.

Dies ist nun durch die Annahme zu erklären möglich, dass in dem diamagnetischen Körper Molecularströme inducirt werden, d. h. Ströme, welche die einzelnen Molecüle des diamagnetischen Körpers umkreisen, sich aber nicht in der Masse desselben, von einem Molecül zum anderen fortschreitend, bewegen.

Der Unterschied zwischen Strömen, welche sich durch Leiter in grösseren Kreisen bewegen, und den Molecularströmen besteht nur darin, dass die strömende Elektricität der ersteren beim Uebergang von einem

Molecül zum anderen einen mehr oder minder bedeutenden (Leitungs-) Widerstand zu überwinden hat, wodurch ihre lebendige Kraft so schnell verzehrt wird, dass sie in einer unmessbar kleinen Zeit zur Ruhe gelangen muss, wenn ihr der erlittene Verlust nicht durch fortdauernde elektromotorische Kräfte immer wieder ersetzt wird. Das Gegentheil gilt von den Molecularströmen, welche nicht durch den Leiter von Molecül zu Molecül fortgehen, sondern sich um ein einziges Molecül herumbewegen, für die also jener Grund der Entziehung der lebendigen Kraft wegfällt. Diese Ströme beharren also ohne elektromotorische Kraft in gleicher Intensität.

Wirkt nun eine inducirende Kraft auf einen Körper, so können dadurch zweierlei Ströme gebildet werden: die gewöhnlichen Inductionsströme, welche sich durch die Masse des Körpers bewegen und alsbald verschwinden, und inducirte Molecularströme, welche auf ihrem Wege um die Molecüle herum keinen Widerstand finden und ungeschwächt fortdauern müssen, bis in Folge einer neuen entgegengesetzten Induction neue entgegengesetzte Molecularströme hinzukommen, welche die älteren aufheben.

Nach der Weber'schen Theorie des Diamagnetismus sind also die hierher gehörigen Erscheinungen durch Molecularströme zu erklären, welche in dem Diamagneticum durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder dadurch inducirt werden, dass in einem benachbarten Pole der Magnetismus entsteht, und welche so lange fortdauern, bis das Verschwinden des Magnetismus in dem Magnetpol oder die Entfernung des Diamagneticums von demselben eine entgegengesetzte Induction bewirkt und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt.

Die in grösseren Kreisen sich bewegenden Inductionsströme können sich in Isolatoren nicht bilden; inducirte Molecularströme sind aber in ihnen wohl möglich, da ja auch Nichtleiter, z. B. schweres Glas, von den Magnetpolen abgestossen werden und sich äquatorial stellen.

212 **Diamagnetismus der Flamme und der Gase.** Die früheren Versuche Faraday's über das Verhalten der Gase gegen Magnetpole gaben keine entscheidenden Resultate. — Bancalari fand zuerst, dass eine Flamme, zwischen die Pole eines Elektromagnets gestellt, im Augenblick der Herstellung des Stromes eine Abstossung erleidet und bei Unterbrechung desselben wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrt.

Zantedeschi, Faraday und Plücker haben weitere Versuche über den Diamagnetismus der Flamme angestellt. Plücker brachte zwischen die 3·5 mm von einander entfernten Polspitzen eines Elektromagnets eine ruhig brennende, keinen Russ absetzende Talgkerze, und hielt dieselbe so zwischen die Polspitzen, dass sich diese in $\frac{7}{8}$ der ursprünglichen Höhe der Flamme befanden. Fig. 685 zeigt für diesen Fall die äquatoriale, Fig. 686 die axiale Ansicht der Flamme.

Als die Flamme gehoben wurde, so dass sich die Polspitzen in der

Hälfte ihrer ursprünglichen Höhe befanden, nahm die Flamme in äquatorialer Richtung die Gestalt Fig. 687 an.

Endlich wurde die Talgkerze so weit gehoben, dass sich die beiden Polspitzen mit dem oberen Ende des Dochtes in gleicher Höhe befanden

Fig. 685.



Fig. 686.



Fig. 687.



Fig. 688.



und die Flamme, durch die eisernen Polspitzen abgekühlt, nicht mehr mit vollem Lichte brannte. Als die Kette geschlossen wurde, erhielt sie nicht allein ihr früheres Licht wieder, sondern sie brannte noch stärker, indem sie herunter gedrückt wurde und in der Aequatorialansicht die Form Fig. 688 annahm.

Bei diesen Versuchen mit der Talgkerze brannte dieselbe ohne Russ abzusetzen. Ein stark russendes Talglicht bietet ganz andere Erscheinungen dar. Wenn sich insbesondere die beiden Polspitzen in $\frac{3}{4}$ der Höhe der ursprünglichen Flamme befanden, so ergab sich beim Schliessen der Kette die in Fig. 689 (a. f. S.) dargestellte Aequatorialansicht. Der aufsteigende graue Qualm breitete sich in der Aequatorialebene bedeutend aus. Er wurde auswärts scharf von einer Parabel begränzt, deren Scheitel genau in die Mitte zwischen die beiden Polspitzen fällt.

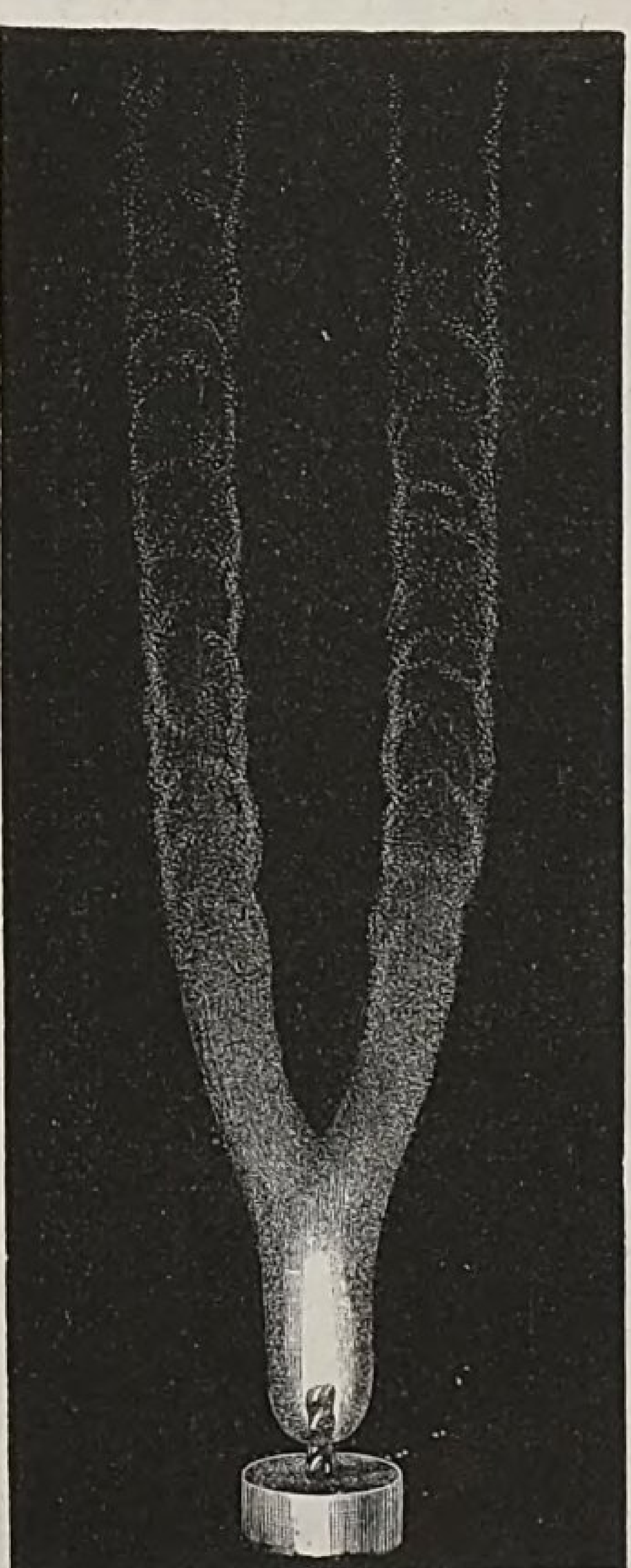
Aehnliches zeigt eine russende Terpentinölflamme, der von einem brennenden Stück Zunder aufsteigende Rauch und so weiter.

Zur Hervorbringung dieser Erscheinungen sind grosse Elektromagnete und bedeutende Stromkräfte nöthig.

Alle die verschiedenen Formen, welche die Flammen unter dem Einfluss von Magnetpolen annehmen, erklären sich aus der Annahme,

dass die Substanz der Flammen durch die Magnetpole abgestossen wird, und dass diese Abstossung hauptsächlich von der Axenlinie aus nach den Seiten erfolgt; es wird also durch diese Versuche bewiesen, dass die verschiedenen untersuchten Flammen sich diamagnetisch verhalten und zwar, dass sie in höherem Grade diamagnetisch sind als die umgebende Luft.

Fig. 689.



Um das Verhalten verschiedener Gasarten bei gleicher Temperatur (der Temperatur der umgebenden Luft) zu prüfen, schlug Faraday folgendes Verfahren ein. Das zu prüfende Gas befand sich in einer Woulf'schen Flasche. In die eine Oeffnung derselben wurde eine fast bis zum Boden der Flasche hinabreichende Röhre befestigt, und durch diese wurde das Wasser eingegossen, welches das Gas austreiben sollte. Der Zufluss des Wassers war so regulirt, dass in der Minute 200 cbcm Wasser hier ein-, also eben so viel Gas durch die andere Oeffnung ausströmte. Das Gas wurde durch eine Glasröhre zu der Stelle geleitet, an welcher es ausströmen sollte. Die Ausströmungsöffnung hatte ungefähr 3 mm Durchmesser; sie befand sich unter den Polspitzen, wenn man mit einem leichteren, über den Polspitzen, wenn man mit einem schweren Gas experimentirte, so dass ein in der Mitte zwischen den Polspitzen aufsteigender oder niedersinkender Gasstrom hervorgebracht wurde.

In der Ausströmungsröhre befand sich ein Stück Fliesspapier, welches mit concentrirter Salzsäure befeuchtet war, so dass das ausströmende Gas stets etwas Salzsäure mit sich führte. Um nun den Weg zu zeigen, welchen die aufsteigende oder niedersinkende Gassäule nimmt, verfuhr Faraday in folgender Weise: Ueber oder unter dem Mittelpunkte der Linie, welche die beiden Polspitzen verbindet, war eine an beiden Enden offene Glasröhre, so lang und so dick wie ein Finger, angebracht; eine gleiche Röhre in äquatorialer Richtung auf jeder Seite derselben, so also, dass die Ebene, welche die Axen dieser drei verticalen Röhren verbindet, äquatorial steht. Jede dieser Röhren enthielt ein Stück Fliesspapier, welches in Ammoniakflüssigkeit getaucht war, so dass Nebel entstehen mussten, wenn das salzsäurehaltige Gas durch eine solche Röhre hindurchging.

Strömte das Gas frei auf oder ab, so ging es durch die mittlere Röhre; erschien es aber nach Schliessung der Kette in den Seitenröhren, so war das ein Zeichen, dass es diamagnetisch gegen Luft ist.

In dieser Weise geprüft, zeigten sich diamagnetisch: Stickstoff (schwach), Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, ölbildendes Gas, Steinkohlengas, Chlorwasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure, Ammoniak, Chlor, Jod, Brom, Cyan. — Stickstoffoxyd und salpetrigsaures Gas gaben keine entscheidenden Resultate.

Faraday änderte nun den Versuch dahin ab, dass er den Versuchsraum gegen die äussere Luft absperrte und ihn mit Kohlensäure, mit Steinkohlengas oder mit Wasserstoffgas füllte, so dass die zu untersuchenden Gase nicht in Luft, sondern in Kohlensäure, Steinkohlengas oder Wasserstoffgas ausströmten.

Auf diese Weise untersucht, verhielt sich das Sauerstoffgas magnetisch gegen alle anderen Gase. Der relative Magnetismus des Sauerstoffgases lässt sich sehr schön zeigen, wenn man dasselbe in einer Seifenblase enthalten zwischen die Pole des Elektromagnets bringt und dann den Strom abwechselnd öffnet und schliesst.

Intensitätsbestimmung magnetischer und diamagnetischer Kräfte. Die Grösse der Anziehung, welche magnetische Flüs- 213
sigkeiten durch Magnetpole erfahren, hat Plücker in folgender Weise gemessen: Zur Aufnahme der Flüssigkeit dient ein Uhrglas mit abgeschliffenem Rande; es wird bis über diesen Rand mit der Flüssigkeit gefüllt und dann dieselbe mit einem als Deckel dienenden matten Glase abgestrichen, so dass man sicher ist, dass die eingeschlossene Flüssigkeit bei gleicher Form stets dasselbe Volumen einnimmt.

Um die Stärke der Anziehung zu bestimmen, wird das Uhrglas mit seinem Inhalte und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing gebracht, der an drei etwa 200 mm langen Seidenfäden an einer Wage hängt, welche hinreichend fein ist, um 1 mg anzugeben, und an der, ausser der Axe des Wagbalkens, kein Eisen sich befindet. Um die Wirkung bei schwachen Kräften zu verstärken, wird das Glas nicht mit einem einzelnen Pole in Berührung gebracht, sondern es werden die beiden Halbanker, etwa wie sie Fig. 657, S. 717, dargestellt sind, so auf die Pole gelegt, dass die einander zugekehrten Enden derselben noch 6 mm von einander abstehen; die Wage wurde genau so adjustirt, dass das Uhrglas mit dem Ringe, wenn die Wage tarirt ist, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker eben berührt. Nach Erregung des Magnetismus wird das Uhrglas mit seinem Inhalt angezogen, und um es von den Halbankern abzureissen, wird auf die Wagschale der andern Seite ein passendes Taragewicht aufgelegt. Die Grösse dieses Gewichtes ist das Maass für die jedesmalige magnetische Kraft.

Das leere Uhrglas selbst nebst dem Messingringe zeigte sich mag-

netisch; als der Elektromagnet durch sechs Platinelemente erregt wurde, ward es noch mit einer Kraft von 0·4 g angezogen.

Als das Uhrglas mit Wasser gefüllt wurde, betrug die Anziehung noch 0,28 g. Die diamagnetische Abstossung des im Uhrglase eingeschlossenen Wassers beträgt also 0·12 g.

Nun bereitete Plücker vier Lösungen von Eisenchlorür, deren Salzgehalt sich verhielt wie 8 : 4 : 2 : 1 und bestimmte die zum Abziehen nöthigen Gewichte. Es ergab sich aus diesen Versuchen, dass die Anziehung der Eisenchlorürlösung dem Gehalte an Eisenchlorür proportional ist.

Ganz ähnliche Resultate wurden mit fein vertheiltem Eisen erhalten, welches in frischem Schweineschmalz gleichmässig vertheilt war.

Aehnliche Versuche wurden auch mit anderen eisen- und nickelhaltigen Substanzen gemacht. Die folgende Tabelle enthält einen Theil der so erhaltenen Resultate:

	A	*B*	*C*	*D*
Salpetersaures Eisenoxyd	14·55 g	1·212 g	2·502 g	2·064 g
Salzsaures Eisenoxydul .	16·53	2·825	7·095	2·501
Schmalzmischung 50 : 1	8·225	0·161	82·370	50·740
Eisenoxyd, gepulvert . .	14·82	10·377	21·690	2·090
Eisenglanz	33·72	23·604	91·755	3·887
Eisenoxydhydrat	16·50	8·750	13·238	1·513

Die Columne *A* enthält das Gewicht der untersuchten Substanz, unter *B* findet sich das Gewicht des in der untersuchten Masse enthaltenen Eisens; die mit *C* überschriebene Columne enthält die Grösse der beobachteten magnetischen Anziehung. Dividirt man mit den Zahlen unter *B* in die unter *C* stehenden, so erhält man die Zahlen der letzten Verticalreihe, welche also angiebt, wie gross die Anziehung gewesen sein würde, wenn bei gleichmässiger Vertheilung im Inneren des Uhrglases der Eisengehalt der Substanz gerade 1 g betragen hätte.

Wir sehen daraus, dass bei gleichem Eisengehalt die magnetische Anziehung verschiedener Eisenverbindungen sehr verschieden ist, dass die magnetischen Eigenschaften des Eisens in den meisten seiner Verbindungen ausserordentlich geschwächt erscheinen. Bezeichnen wir die magnetische Anziehung des metallischen Eisens mit 100 000, so ist die Anziehung, welche unter gleichen Umständen die gleiche Menge Eisen in verschiedenen Verbindungen erfährt, die folgende:

Eisen metallisch	100 000
„ im Oxyd	714
„ im Eisenglanz	761
„ im Eisenoxydhydrat	296
„ in der Lösung von salpeters. Eisenoxyd	410
„ in der Lösung von salzsaurem Eisenoxydul	490

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, wie sehr die magnetischen Eigenschaften des Eisens abnehmen, wenn dies Metall mit anderen Körpern chemische Verbindungen eingeht. Eine einzige Eisenverbindung zeigt einen stärkeren Magnetismus; bezeichnen wir den Magnetismus des Eisens mit 100 000, so ist der eines gleichen Gewichtes Magneteisenstein 40 227. Es ist dies eine Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul ($FeO + Fe_2O_3$). — Der starke Magnetismus dieser Verbindung rührt höchst wahrscheinlich daher, dass das Eisenoxydul in sehr hohem Grade magnetisch ist. Das Eisenoxydul selbst konnte Plücker bisher noch nicht untersuchen.

Die Grösse der diamagnetischen Abstossung wurde in der Weise ermittelt, wie es oben für Wasser angegeben wurde. Bezeichnen wir die Stärke des Diamagnetismus des Wassers mit 100, so ist bei gleichem Volumen die Stärke der diamagnetischen Abstossung für

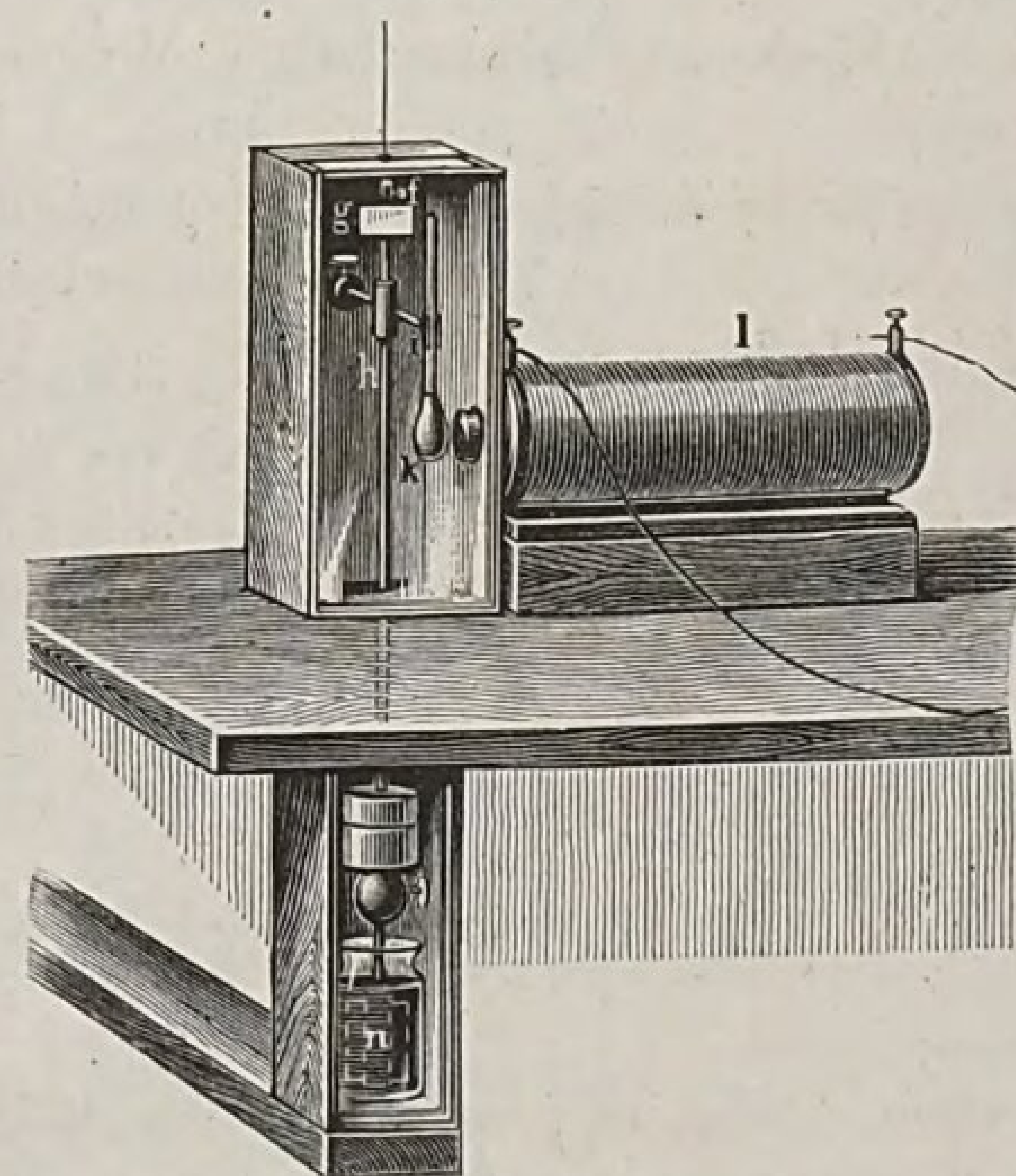
Alkohol (0·813)	93
Aether	93
Schwefelkohlenstoff	129
Schwefelsäure	64.

Sehr genaue Versuche hat später Wiedemann über diesen Gegenstand angestellt (Pogg. Annal. CXXVI). Zur Messung des magnetischen Momentes der Salze und der Salzlösungen bediente er sich der Torsion. An einem 640 mm langen, 0·3 mm dicken hartgezogenen Neusilberdraht, welcher oben mit einer Torsionsvorrichtung versehen war, hing ein 550 mm langer, 5·5 mm dicker Messingdraht *hh*, Fig. 690 (a. f. S.). Oben war an diesem Messingdraht ein Spiegel *g*, unterhalb desselben ein Querdraht angebracht, welcher an seinem vorderen Ende das kleine kolbenartige Glasgefäss *k* trug. An seinem untersten Ende waren an dem durch Bleigewichte beschwerten Drahte *h* vier Flügel von Messingblech befestigt, welche in ein Gefäss mit Oel eintauchten, um so die Schwingungen des Apparates rascher zu dämpfen.

Der Draht *hh* sammt allem was daran hing, schwebte in einem geschlossenen Gehäuse von Holz, welches ihn vor Luftzug schützte. Dem Spiegel *g* gegenüber war die Holzwand durchbrochen und die Oeffnung mit einer Platte von Spiegelglas geschlossen. Seitlich war durch die Wand des Gehäuses das eine Ende eines horizontal liegenden 370 mm langen, 41·5 mm dicken Eisenstabes eingeschoben, dessen in der magne-

tischen Ost-Westrichtung liegende Axe in ihrer Verlängerung den Mittelpunkt der Glaskugel k traf. Der Eisenstab war von einer Magnetisirungsspirale von 1100 Windungen eines ungefähr 2 mm dicken übersponnenen Kupferdrahtes umgeben.

Fig. 690.



Oestlich in der Verlängerung der Axe dieses Elektromagnets, 2·48 m von demselben entfernt, war ein an einem Coconfaden hängender magnetischer Stahlspiegel angebracht, welcher von einer dämpfenden Kupferhülse umgeben war. Sobald der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt wurde, erfolgte eine Ablenkung dieses Stahlspiegels aus seiner Gleichgewichtslage. Die Grösse M dieser Ablenkung wurde an einer 900 mm von ihm entfernten Scala mittelst eines Fernrohrs (I) abgelesen und gab ein Maass für das magnetische Moment des Elektromagnets.

Ehe man den Elektromagnet erregte, wurde mittelst eines Fernrohrs (II) das durch den Spiegel g entworfene Bild einer 2·87 m von demselben entfernten Scala beobachtet und notirt, welcher Theilstrich gerade am Fadenkreuz einstand. Wurde nun der Elektromagnet erregt, so wurde die Kugel k vom Pol des Elektromagnets angezogen, wenn sie einen magnetischen Stoff enthielt, und man musste das obere Ende in entgegengesetzter Richtung drehen, um die Kugel k wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückzuführen, um also zu bewirken, dass der gleiche Theilstrich wieder am Fadenkreuze des Fernrohrs (II) einstand, wie vorher. — Nachdem dies geschehen war, wurde der Strom unterbrochen, welcher den Elektromagneten umkreiste, die magnetische Wirkung desselben auf k hörte auf, es musste also nun der Messingstab h mit allem was daran hing die lediglich durch die Torsion des Neusilberdrahtes bedingte Stellung einnehmen, welche mittelst des Fernrohrs II am Scalenbild im Spiegel g beobachtet wurde. Die Differenz dieser beiden Ablesungen giebt ein Maass für die Torsion T des Aufhängedrahtes, welche offenbar der Anziehung zwischen k und dem Magnetpol proportional ist.

Wenn man annehmen kann, dass der in k erregte Magnetismus dem Moment des Elektromagnets proportional sei, so kann man das magnetische Moment M_1 der Kugel k sammt der Salzlösung gleich $a\,M$ setzen und hat also $T = M \, . \, M_1 = a\,M^2$ oder $a = \frac{T}{M^2}$.

Es wurden nun für verschiedene Werthe von M die entsprechenden Werthe von T ermittelt, und so ergab sich, dass in der That der Quotient $\frac{T}{M^2}$ einen constanten Werth hatte, dass also der im Inhalt der Glaskugel k erregte Magnetismus wirklich dem magnetischen Momente des Elektromagnets proportional war.

Bei diesen Versuchen tritt aber die Wirkung zwischen dem magnetischen Salze und dem Magnetpol nicht rein auf, sondern sie erscheint combinirt mit der Wirkung des Magnetpols auf das Lösungsmittel. Um dies zu eliminiren, stellte Wiedemann in gleicher Weise eine zweite Reihe von Versuchen an, bei welchen K nur mit dem Lösungsmittel gefüllt war. Bezeichnen wir für diesen Fall mit t die Grösse der Torsion, welche dem magnetischen Moment M des Elektromagnets entspricht, so ergiebt sich $b = \frac{t}{M^2}$.

Für den Magnetismus des Salzes allein haben wir also

$$m = a - b = \frac{T}{M^2} - \frac{t}{M^2}.$$

Um den Einfluss der Concentration der Lösung auf ihr magnetisches Moment zu untersuchen, bestimmte Wiedemann den Werth von m für verschiedene Concentrationsgrade einer wässerigen Lösung von Eisenchlorid und Manganchlorür. Die folgende Tabelle enthält unter g den Gehalt an Metall in 10 cbcm der Lösung, in der folgenden die entsprechenden Werthe von m und in der letzten endlich den Quotienten $\frac{m}{g}$.

	g	m	$\frac{m}{g}$
Eisenchlorid	0·595 g	102·74	172·3
	0·450	77·16	170·3
	0·300	50·70	169·0
	0·149	24·72	165·7
Manganchlorür	0·956	163·00	170·5
	0·717	120·30	167·5
	0·478	80·87	170·0
	0·239	40·20	168·2

Der Magnetismus einer Salzlösung ist also ihrem Salzgehalte proportional.

Wiedemann wiederholte diese Versuche mit Lösungen desselben Salzes in verschiedenen Lösungsmitteln.

Er fand für

Eisenchlorid gelöst in	Wasser	Alkohol	Aether
$\frac{m}{g}$	172·3	164·3	170·8

Der Magnetismus des gelösten Salzes ist also von der Natur des Lösungsmittels nahezu unabhängig.

Was den Einfluss der Temperatur anlangt, so fand Wiedemann, dass der Magnetismus der gelösten Salze proportional der Temperatur abnimmt.

In der folgenden Tabelle sind die Werthe des Quotienten $\frac{m}{g}$, den man als specifischen Magnetismus der Substanz bezeichnen kann, für die von Wiedemann untersuchten Salze zusammengestellt.

	$\frac{m}{g}$	μ
Schwefelsaures Nickeloxydul	18·40	142
Salpetersaures Nickeloxydul	15·67	143
Nickelchlorür	21·54	140
Schwefelsaures Kobaltoxydul	41·52	322
Salpetersaures Kobaltoxydul	33·98	311
Kobaltchlorür	47·08	306
Schwefelsaures Eisenoxydul	51·36	390
Salpetersaures Eisenoxydul	42·91	386
Eisenchlorür	60·78	386
Schwefelsaures Eisenoxydul-Ammoniak	19·35	379
Schwefelsaures Manganoxydul	62·18	470
Salpetersaures Manganoxydul	52·46	469
Manganchlorür	74·74	470
Schwefelsaures Chromoxyd	19·39	381
Salpetersaures Chromoxyd	15·38	372
Chromchlorid	25·15	399
Schwefelsaures Eisenoxyd	46·51	930
Salpetersaures Eisenoxyd	38·89	941
Eisenchlorid	59·57	966

Die letzte Columne dieser Tabelle enthält das Product μ, welches man durch Multiplication der Werthe von $\frac{m}{g}$ mit dem Atomgewicht des entsprechenden Salzes erhält. Die Vergleichung dieser Werthe ergiebt das wichtige Resultat, dass bei analog zusammengesetzten Salzen desselben Metalles das Product des specifischen Magnetismus desselben mit ihrem Atomgewicht constant ist.

Dieser Satz erinnert an einen ganz ähnlichen in Betreff der specifischen Wärme der Salze, welchen wir Bd. II, 2, §. 67 kennen gelernt haben.

In anderer Form lässt sich dieser Satz auch so aussprechen: der durch die magnetisirende Kraft 1 erregte temporäre Magnetismus je eines Atoms der Verbindungen einer bestimmten Oxydationsstufe eines Metalls mit verschiedenen Säuren ist stets derselbe.

Wiedemann untersuchte nun auch den Magnetismus einer Reihe von Salzen in fester Form. Die Salze wurden dabei fein gepulvert und möglichst innig mit geglühter Kieselsäure zusammengerieben in das Glasgefäss des Torsionsapparates gebracht. Diese Versuche führten zu dem Resultate, dass der Magnetismus der Salze in trockenem Zustande nahezu derselbe ist, wie der Magnetismus derselben Salze im gelösten Zustande, und dass die Verbindung der wasserfreien Salze mit Krystallwasser ihren Magnetismus nicht wesentlich ändert.

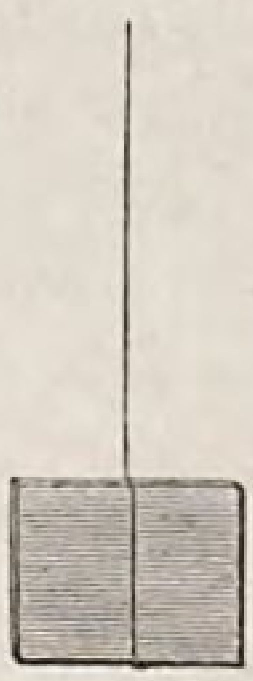
Wiedemann experimentirte stets mit chemisch reinen Salzen und wo etwa seine Resultate mit früheren Plücker'schen Angaben nicht harmoniren, glaubt er, dass der Grund dieser Differenz darin zu suchen sei, dass Plücker nicht immer mit ganz reinen Salzen gearbeitet habe.

Einfluss der Krystallisation auf die diamagnetischen Erscheinungen. 214 Plücker machte zuerst die Beobachtung, dass die Krystallisationsverhältnisse einen wesentlichen Einfluss auf die diamagnetischen Erscheinungen ausüben. Eine Turmalinplatte z. B., welche einer Turmalinzange entnommen, also parallel mit der Axe geschliffen war, wurde so aufgehängt, dass die Richtung der Axe mit der Richtung des Fadens zusammenfiel (es ist dies in Fig. 691 durch die Schraffirung angedeutet; die Schraffirungslinien sind der optischen Axe der Platte parallel). Die Platte stellt sich zwischen den Polen des Elektromagnets axial; der Turmalin ist also eine magnetische Substanz (was wohl von seinem Eisengehalte herrührt). Nun wurde dieselbe Platte so aufgehängt, dass die Richtung der optischen Axe rechtwinklig zu der des Fadens war, wie dies Fig. 692 angedeutet ist; jetzt stellte sich die Platte äquatorial.

Fig. 691.



Fig. 692.



Faraday machte Versuche mit gut krystallisirten Wismuthstücken, aus welchen sich ergab, dass die Hauptspaltungsrichtung stets ein Bestreben zeigt, sich äquatorial zwischen die Magnetpole zu stellen. Dieses Bestreben macht sich in der Weise geltend, dass eine Säule von krystallisirtem Wismuth, deren Axe auf der Hauptspaltungsfläche rechtwinklig steht, sich selbst bei entschieden vorherrschenden Längendimensionen axial stellt.

Faraday nennt die Richtung des krystallisirten Wismuths, welche sich axial zu stellen strebt, die Magnetkrystallaxe.

Plücker liess geschmolzenes Wismuth langsam zwischen den Magnetpolen krystallisiren. Nach dem Erstarren zeigte sich, dass die Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit vorherrschend nach der äquatorialen Richtung lagen.

Nachdem Plücker das eigenthümliche Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen entdeckt hatte, suchte er es durch eine Einwirkung der Magnetpole auf die optischen Axen zu erklären. Später hat er seine Ansicht über diesen Gegenstand in folgender Weise modificirt: „Unter der inducirenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinste Theilchen eines Krystalls polar magnetisch oder polar diamagnetisch. Aber die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induction, nach einer veränderlichen Richtung, die bloss nach der Lage der Pole bestimmt wird, sondern je nach der Krystallform nach einer oder mehr als einer festen Richtung. Solche Richtungen, die in dem Krystalle durch die Form desselben gegeben sind, habe ich die magnetischen Axen des Krystalls genannt."

Krystalle des regulären Systems haben keine solche magnetische Axe.

Die optisch einaxigen Krystalle haben eine magnetische Axe, welche mit der krystallographischen Hauptaxe (also auch mit der optischen) zusammenfällt. Stellt sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen axial, so nennt Plücker den Krystall magnetisch positiv; er nennt ihn magnetisch negativ, wenn sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen äquatorial stellt.

Knoblauch ist dagegen der Ansicht, dass überhaupt in diamagnetischen wie in magnetischen Körpern, deren Theilchen nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abstehen, die (diamagnetische oder magnetische) Wirkung, welche sich an ihnen zwischen den Magnetpolen kund giebt, immer in der Richtung am stärksten ist, in welcher die materiellen Theilchen am nächsten bei einander liegen.

Für diese Ansicht spricht der folgende Versuch: Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetischen Körpers, z. B. aus Mehl, mit Hülfe von etwas Gummiwasser ein vierkantiger Stab gebildet, so stellt sich dieser zwischen den Magnetpolen natürlich so, dass die Längenaxe äquatorial steht. Drückt man ihn in der Richtung seiner grösseren Ausdehnung so weit zusammen, dass das Parallelepiped in einen Würfel

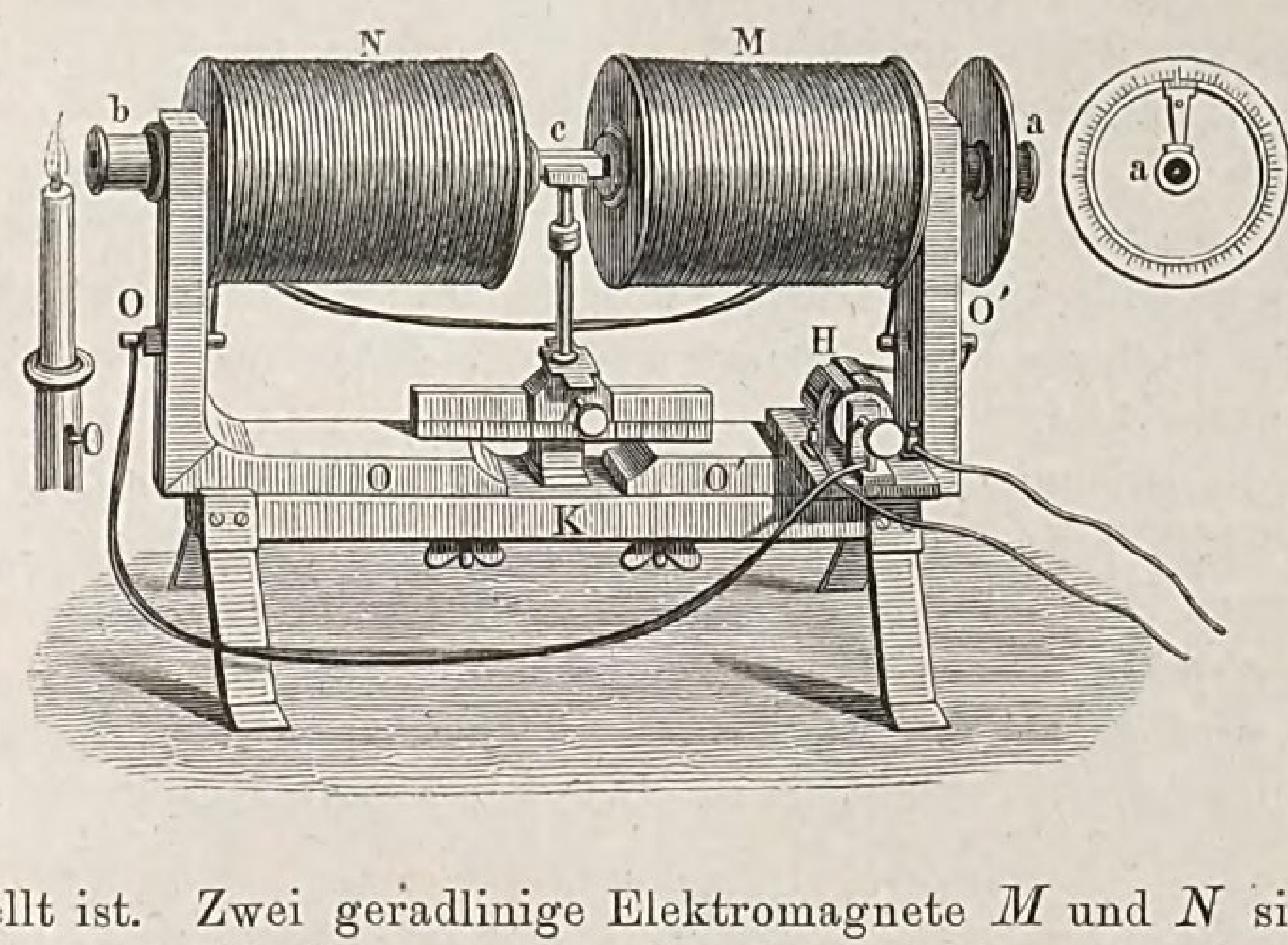
übergeht, so stellt sich dieselbe Richtung, welche vorher äquatorial war, auch jetzt noch äquatorial. Dies ist selbst dann noch der Fall, wenn die Zusammendrückung in demselben Sinne wie zuvor so weit fortgesetzt worden, dass aus dem Würfel eine dünne Platte entstanden ist, so dass also die Ebene der Platte axial steht.

Im zweiten Theil seiner „Lehre vom Galvanismus" etc. hat jedoch Wiedemann Zweifel gegen die Richtigkeit dieser Ansicht ausgesprochen.

Drehung der Polarisationsebene durch magnetisirende Kräfte. 215 Als Faraday zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagnets ein ungefähr 5 cm langes Stück von kieselborsaurem Bleioxyd (welches er auch kurz nur schweres Glas nennt) brachte, fand er, dass die Polarisationsebene eines durch dieses Glasstück hindurchgesandten linear-polarisirten Lichtstrahls durch den Einfluss der Magnetpole eine Drehung erlitten hatte.

Zur Anstellung dieses Versuchs ist die von Ruhmkorff herrührende Form des Elektromagnets besonders geeignet, welche in Fig. 693

Fig. 693.



dargestellt ist. Zwei geradlinige Elektromagnete M und N sind horizontal in solcher Stellung angebracht, dass die Axe des einen in der Verlängerung der Axe des anderen liegt; sie sind an den eisernen Trägern O und O' befestigt, die auf der eisernen Schiene K verschiebbar sind, so dass man nach Belieben die beiden Elektromagnete einander nähern oder von einander entfernen kann. Die Axen der Eisenkerne der Elektromagnete M und N sind der Länge nach durchbohrt, so dass man frei hindurchsehen kann. Am einen Ende dieses Canals ist das Nicol'sche Prisma b befestigt, am andern Ende aber ist das Nicol a so angebracht, dass es um seine Axe gedreht und diese Drehung an einem getheilten Kreise abgelesen werden kann.

Die Windungen der beiden Elektromagnete sind so geführt, dass, wenn ein Strom sie durchläuft, der eine der beiden einander zugekehrten Pole ein Nordpol, der andere ein Südpol wird, dass also ein bei *c* angebrachter durchsichtiger Körper sich zwischen zwei ungleichnamigen Polen befindet.

Wenn ein Stäbchen von schwerem Glase bei *c* aufgestellt ist und die beiden inneren Enden der Eisenkerne möglichst dicht an dasselbe herangerückt sind, werden noch vor Schliessung des Stromes die beiden Nicols gekreuzt, so dass das Gesichtsfeld dunkel erscheint, wenn man durch das Nicol *a*, das Glas *c* und das Nicol *b* nach einem hellen Gegenstande, etwa einer Kerzenflamme, hinsieht. Sobald man aber nun den Strom durch die Windungen des Elektromagnets hindurchgehen lässt, wird das Gesichtsfeld mehr oder weniger erhellt, und man muss das Nicol *a* um eine Anzahl Grade drehen, damit das Gesichtsfeld wieder dunkel wird; die Polarisationsebene ist also gedreht worden, gerade so als ob *c* ein mit Circularpolarisation begabter Körper wäre. *H* ist ein Commutator, mittelst dessen man den Strom leicht schliessen, öffnen und umkehren kann.

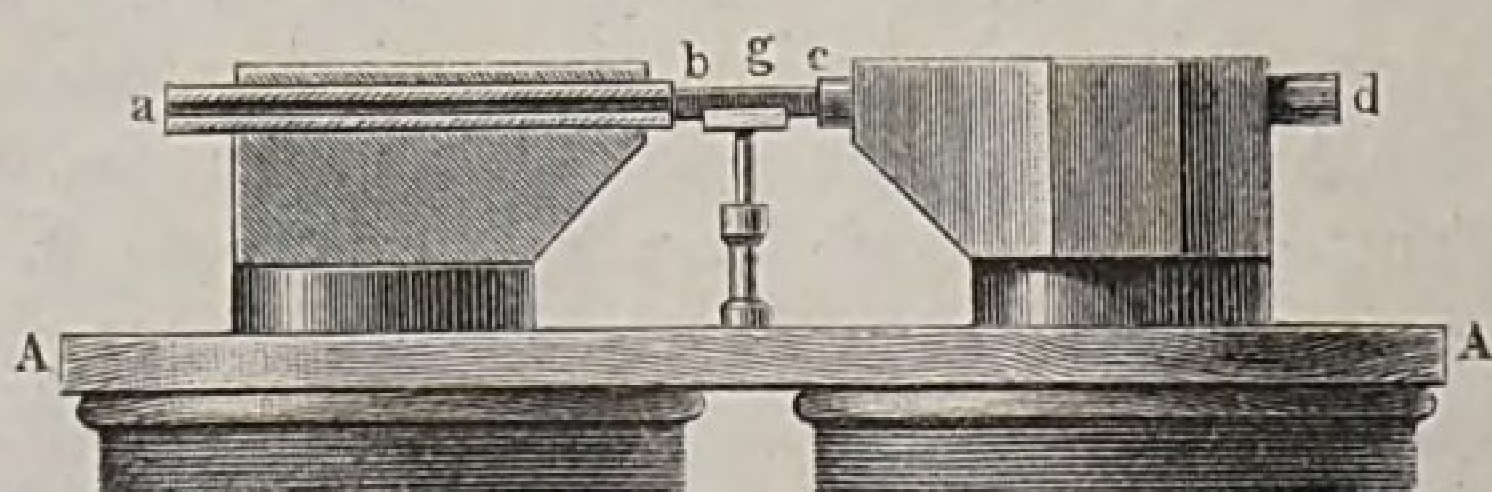
Ist durch die Einwirkung des Elektromagnets das vorher dunkle Gesichtsfeld hell gemacht worden, so wird es alsbald wieder dunkel, wenn man den Strom unterbricht.

Die Richtung, nach welcher die Polarisationsebene in *c* gedreht wird, ist dieselbe, nach welcher der positive Strom in den Windungen der Elektromagnete *M* und *N* kreist.

Auch an anderen durchsichtigen, festen und flüssigen Körpern wurde eine solche Drehung der Polarisationsebene, wenn auch in geringerem Maasse, beobachtet.

Um die Drehung der Polarisationsebene mit Hülfe des Elektromagnets, Fig. 430, Seite 477 hervorzubringen, sind die bereits auf Seite 655 besprochenen Halbanker der Länge nach durchbohrt und in der Höhlung eines jeden steckt ein dickwandiges eisernes Rohr, wie man in Fig. 694 deutlicher sieht, in welcher der eine Halbanker mit dem Rohr *ab* im Durchschnitt dargestellt ist. An dem äusseren Ende *a* des einen

Fig. 694.



eisernen Rohrs ist das eine, am äussern Ende *d* des eisernen Rohrs *cd* ist das Ocularnicol angebracht. Ausserdem muss bei *d* noch ein getheilter Kreis angebracht sein, welcher in unserer Figur weggelassen ist, auf welchem man die Drehung des Ocularnicols ablesen kann. Ein

in der Mitte des Brettes *A* eingeschraubtes Messingsäulchen trägt ein kleines Messingtischlein, auf welches der zu untersuchende durchsichtige Körper *g*, also z. B. ein mit geraden Endflächen versehenes Stäbchen von Faraday'schem Glase, aufgelegt wird. Die eisernen Röhren *ab* und *cd* werden in einer solchen Lage festgestellt, dass ihre Endflächen bei *b* und *c* die Endflächen des Körpers *g* gerade berühren.

Um kleine Drehungen der Polarisationsebene merklich zu machen, kann man auch hier die bereits in Bd. II, 1, S. 641 besprochene Doppelte Quarzplatte in Anwendung bringen.

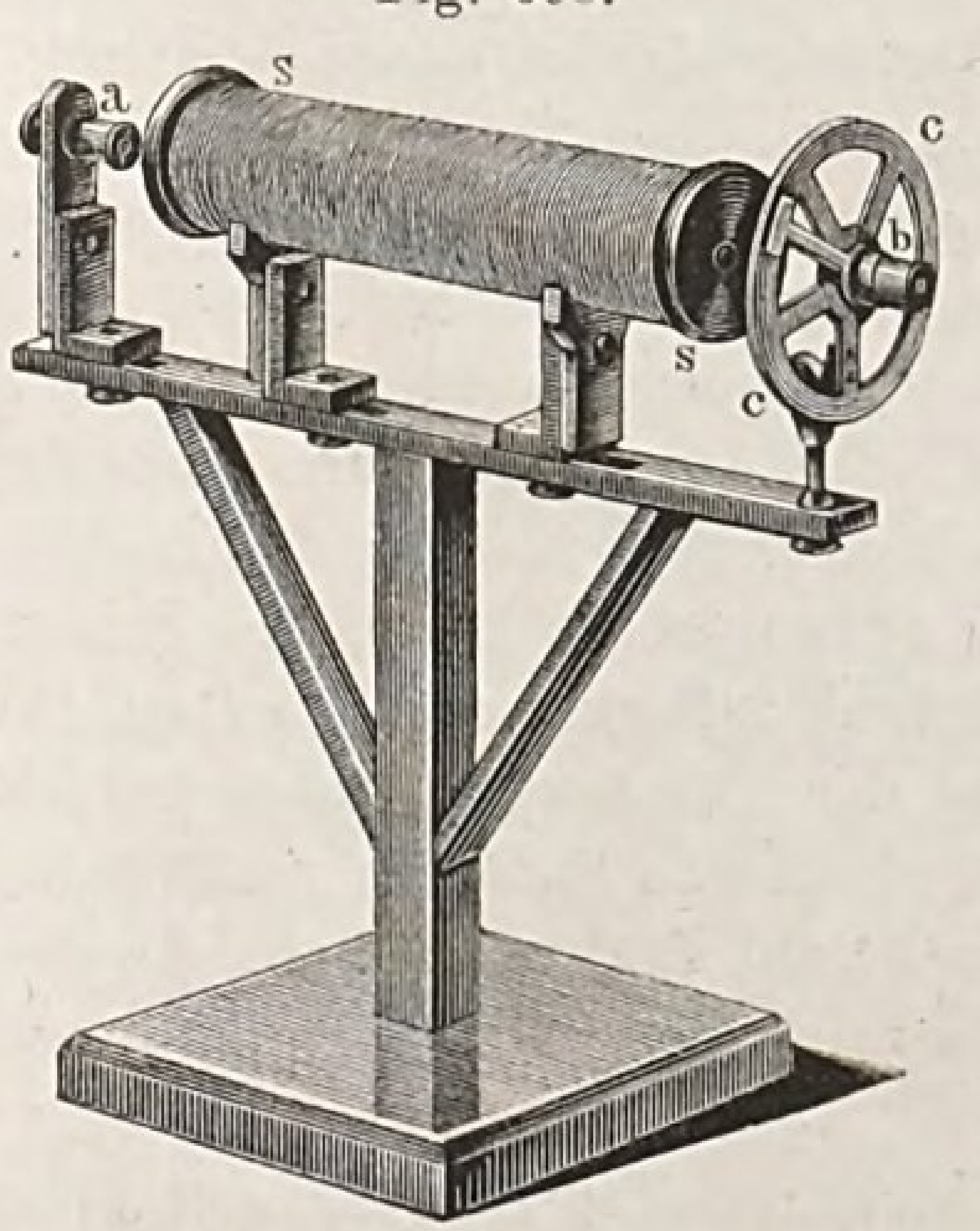
Feste Körper, die man dem Versuche unterwerfen will, werden mit parallelen Flächen versehen, Flüssigkeiten aber zwischen parallelen Wänden von dünnem Glase an die entsprechende Stelle des Apparates gebracht.

In einem Langwürfel von schwerem Glase (kiesel-borsaurem Bleioxyd) von 48 mm Länge betrug die mit dem beschriebenen Apparat hervorgebrachte Drehung der Polarisationsebene (für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit) 16^0, und zwar bei Anwendung einer Säule von 40 bis 50 mit starker Säure gefüllten Bunsen'schen Bechern.

Da ein kräftiger Elektromagnet in der eben besprochenen Weise die Polarisationsebene in durchsichtigen Körpern zu drehen im Stande ist, so liess sich erwarten, dass ein elektrischer Strom, in Form eines Schraubendrahtes um die durchsichtigen Körper herumgeleitet, ebenfalls eine Drehung der Polarisationsebene bewirken müsse. Faraday fand dies vollkommen bestätigt.

Man kann zur Anstellung dieses Versuches den bereits in der Optik beschriebenen, Fig. 695 perspectivisch dargestellten Apparat anwenden.

Fig. 695.



Eine Röhre, deren Einrichtung bereits Band II, 1, S. 640 beschrieben wurde, wird mit der entsprechenden Flüssigkeit gefüllt, in die Magnetisirungsspirale *ss* eingeschoben und diese dann so auf das Stativ gelegt, dass die Axe der Spirale mit den Axen der beiden Nicols *b* und *b* eine gerade Linie bildet. Nachdem nun hinter dem Nicol *a* ein heller Gegenstand, etwa eine Kerzenflamme, aufgestellt, und das Nicol *b* so gedreht worden ist, dass das Gesichtsfeld dunkel erscheint, wird der Strom einer Säule von 10 bis 12 grossen Bunsen'schen Bechern durch die Spirale hindurchgesendet, worauf denn das Gesichtsfeld wieder mehr oder weniger erhellt erscheint. Um es wieder dunkel zu machen, muss man das

Ocularnicol b um einen bestimmten Winkel nach der linken oder rechten Seite drehen.

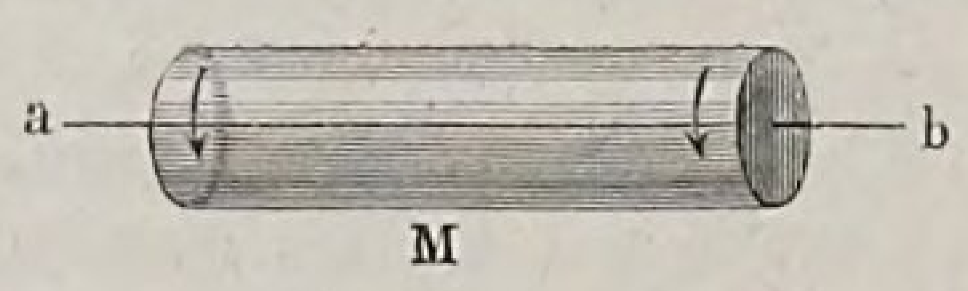
Wie sich nach den mit dem Elektromagnet erhaltenen Resultaten erwarten liess, wird die Polarisationsebene des Strahles nach derselben Richtung gedreht, nach welcher der positive Strom in der Spirale circulirt.

Bringt man Körper, welche schon von Natur ein Drehungsvermögen besitzen, in die Höhlung der Spirale, so addirt oder subtrahirt sich der Effect des elektrischen Stromes zu dem ihrer eigenen Kraft, je nachdem der Strom die Polarisationsebene nach derselben oder nach der entgegengesetzten Richtung dreht, wie die Flüssigkeit selbst.

Zwischen der Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom und der Drehung derselben in einem Körper, welcher die Eigenschaft der Circularpolarisation besitzt, besteht aber ein wesentlicher Unterschied.

In Fig. 696 stelle der Cylinder M ein durchsichtiges Diamagneticum dar, welches in der Richtung der Pfeile von elektrischen Strömen umkreist wird, so wird auch die Polarisationsebene eines Strahles, welcher M in der Richtung der Axe durchläuft, stets nach der Richtung der Pfeile gedreht. Geht nun der Strahl in der Richtung von a nach b fort, so beobachtet also ein in b befindliches Auge eine Drehung nach der Linken, während, wenn der Strahl sich von b nach a fortpflanzt, ein in a befindliches Auge unter sonst ganz gleichen Umständen eine Drehung nach der Rechten beobachtet. Bei circularpolarisirenden Körpern ist das nicht so. Wäre M ein rechtsdrehender circularpolarisirender Körper, so würde man die Polarisationsebene nach der rechten Seite gedreht finden, möchte man nun von b nach a oder von a nach b schauen.

Fig. 696.



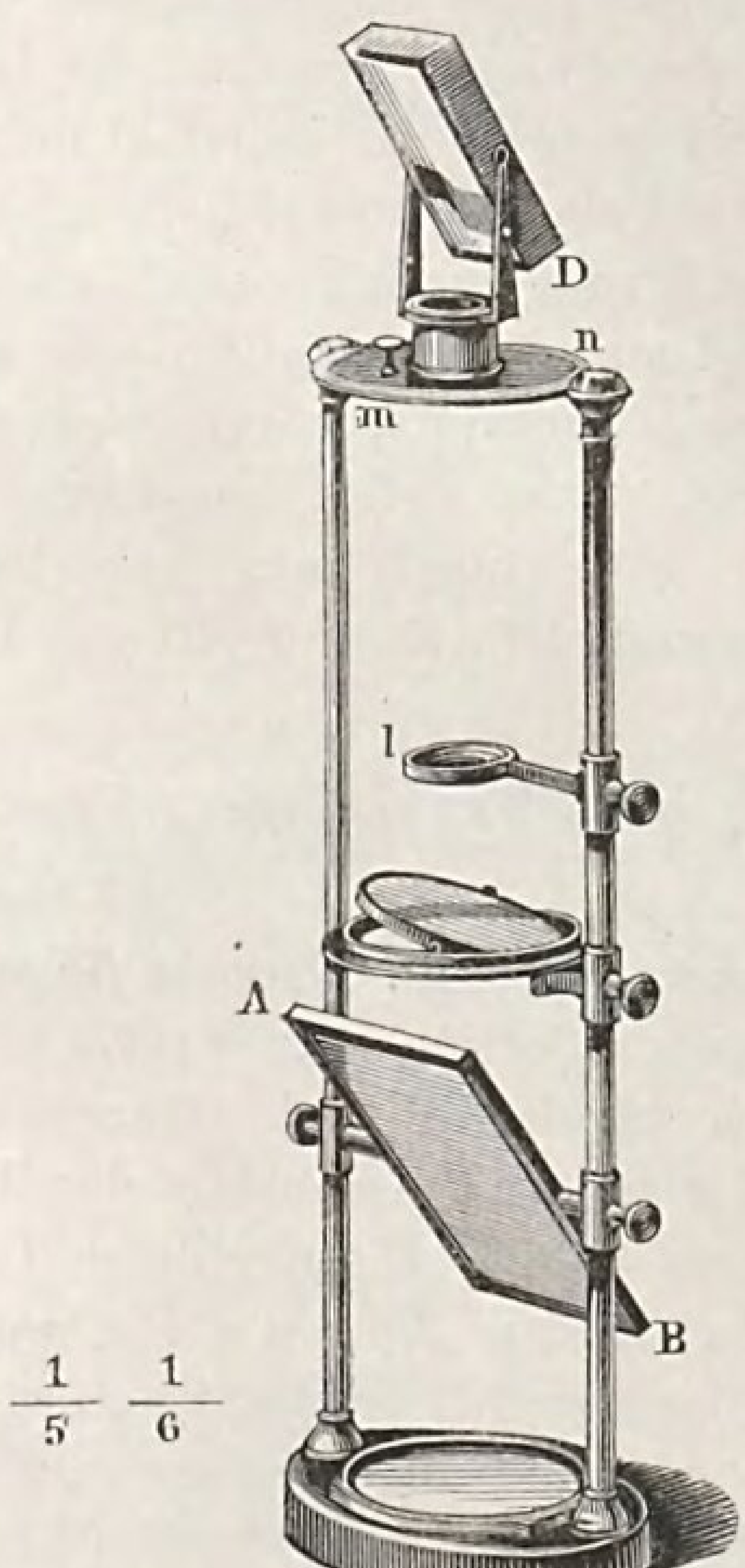
Dringt ein Lichtstrahl in ein circularpolarisirendes Mittel in der Richtung von b nach a ein, so würde, vorausgesetzt, dass das Mittel ein rechtsdrehendes ist, einem in a befindlichen Auge die Polarisationsebene des einfallenden Strahles nach der rechten Seite, also in der Richtung der Pfeile gedreht erscheinen. Wenn aber nun die Endfläche links belegt ist, so dass der sie treffende Strahl reflectirt wird, so wird der reflectirte Strahl eine solche Drehung der Polarisationsebene erleiden, dass sie einem in b befindlichen Auge gleichfalls nach der rechten Seite gedreht erscheint, für den reflectirten Strahl findet also eine Drehung der Polarisationsebene in einer der Richtung der Pfeile entgegengesetzten Richtung statt.

Absolut genommen, ist also die Richtung der Drehung der Polarisationsebene in einem circularpolarisirenden Medium vor und nach der Spiegelung eine entgegengesetzte; die Drehung, welche die Polarisationsebene des Strahles vor seiner Reflexion erlitten hat, wird durch die ent-

gegengesetzte Drehung, die er nach seiner Reflexion erleidet, wieder aufgehoben; das Auge in *b* wird also gar keine Drehung der Polarisationsebene an dem Strahl beobachten können, welcher den circularpolarisirenden Körper zweimal in entgegengesetzter Richtung durchlaufen hat.

Legt man eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte auf den mittleren Tisch des Nörremberg'schen Polarisationsapparates, so beobachtet man die schon im ersten Bande beschriebenen Erscheinungen der Circularpolarisation; legt man aber die Quarzplatte auf den belegten Spiegel im Fusse des Polarisationsapparates Fig. 697, so tritt der eben besprochene Fall ein; man beobachtet keine Drehung der Polarisationsebene mehr.

Fig. 697.



Ganz anders verhält es sich, wenn die Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom oder durch einen Elektromagnet hervorgebracht wird. Da in diesem Falle die Drehung der Polarisationsebene nur von der Richtung des Stromes (oder den Ampère'schen Strömen im Elektromagnet) abhängt, da sie absolut dieselbe ist, mögen die Strahlen nach der einen oder nach der andern Richtung das Diamagneticum durchlaufen, so findet hier keine Aufhebung der Drehung der Polarisationsebene statt, wenn der Strahl an der Rückwand gespiegelt wieder zurückläuft.

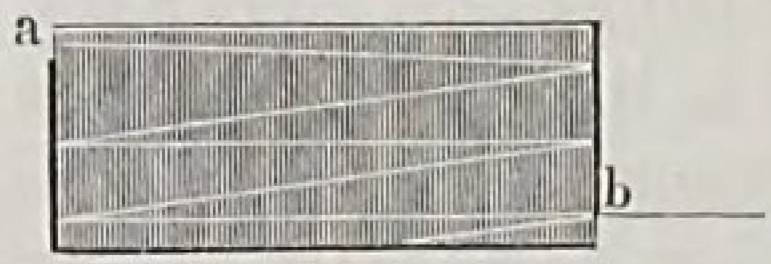
Wenn der Körper *M*, Fig. 696, durch elektrische Ströme die Eigenschaft erhalten hat, die Polarisationsebene zu drehen, so wird ein in *b* befindliches Auge die Polarisationsebene des an der anderen Endfläche reflectirten Strahles doppelt so stark gedreht finden, als wenn der Strahl hier ausgetreten und nach *a* gelangt wäre.

Faraday hat dies benutzt, um die Drehung der Polarisationsebene in einem kurzen Stück eines Diamagneticums sehr merklich zu machen.

Ein Parallelepiped von schwerem Glase, Fig. 698 a. f. S., 7·5 cm lang, dessen Querschnitt ein Quadrat von 14 mm Seite war, wurde an beiden Enden polirt und versilbert. Auf der einen Seite wurde die Belegung bei *a*, auf der andern Seite wurde sie bei *b* auf etwa 2 mm Breite weggenommen, so dass ein bei *a* etwas schräg eintretender Strahl, nachdem er

den Körper mehrmals hin- und hergehend durchlaufen hatte, bei b austreten konnte. Hat der Strahl auf diese Weise 5, 7, 9 etc. mal die ganze Länge des Diamagneticums durchlaufen, so ist die Drehung der Polarisationsebene 5, 7, 9 etc. mal so gross, als wenn er nur einmal gerade durchgegangen wäre.

Fig. 698.

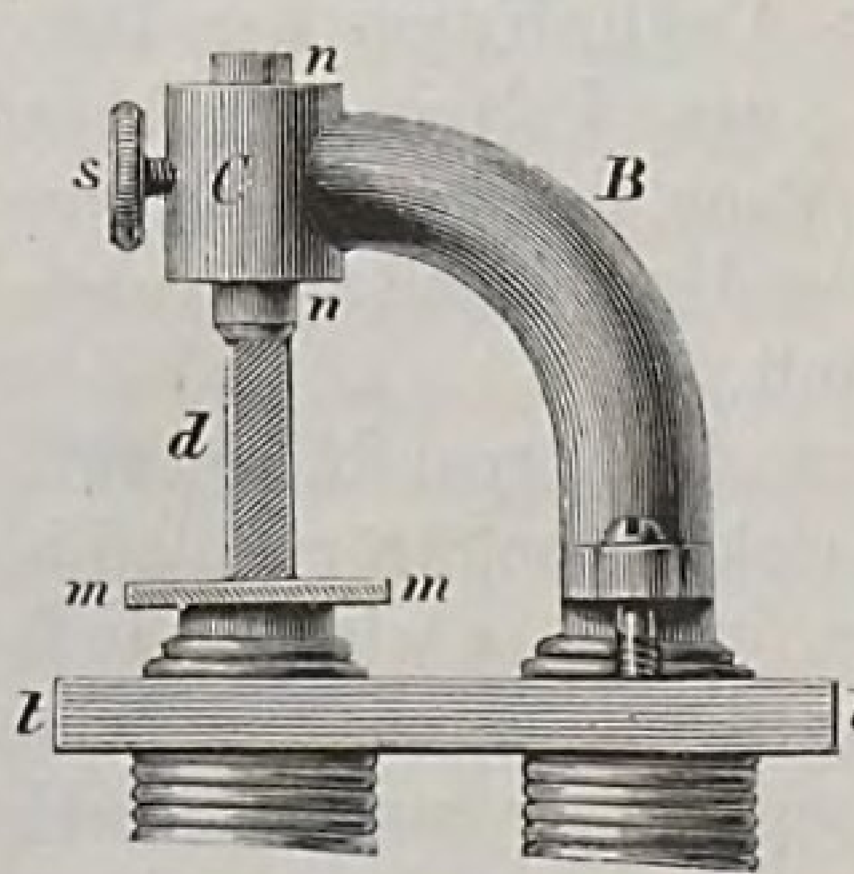


Bertin hat hiervon Anwendung gemacht, um mit Hülfe des Nörremberg'schen Polarisationsapparates die diamagnetische Drehung der Polarisationsebene zu zeigen. Der belegte horizontale Spiegel des Polarisationsapparates, Fig. 697, wurde auf den einen Pol eines aufrecht stehenden Elektromagnets aufgesetzt und dann ein Stück Faraday'schen Glases auf den Spiegel gesetzt. So lange kein Strom durch den Apparat geht, sieht man das Gesichtsfeld dunkel, wenn die Polarisationsebenen des unteren Polarisationsspiegels und des Zerlegers gekreuzt sind; so wie aber der Strom durch die Drahtwindungen geht, erscheint die Platte hell, und man muss den Zerleger nach der rechten Seite drehen, wenn der Polarisationsapparat auf einem Südpol steht, nach der linken im entgegengesetzten Falle, um wieder ein Minimum von Lichtstärke zu erhalten. Für eine 18 mm dicke Platte Faraday'schen Glases betrug diese Drehung 10°, für eine 48 mm dicke betrug sie 21°.

J. Müller verstärkte die Wirkung beim Bertin'schen Versuche auf folgende Weise:

Auf den einen Pol des Elektromagnets wird ein eiserner Bügel B (Fig. 699) aufgesetzt und durch Holzschrauben festgehalten, welche in das Brettchen t eingelassen sind. Gerade über der Mitte des andern Poles endigt der Bügel B mit einem hohlen Eisencylinder C, in welchem ein eisernes Rohr nn von wenigstens 4 mm innerer Oeffnung und nahe 4 mm Wanddicke auf- und abgeschoben und mittelst der Schraube s an jeder beliebigen Stelle festgestellt werden kann. nn wird so gerichtet, dass es genau auf der oberen Fläche des Diamagneticums d aufsitzt, welches auf dem belegten Spiegel mm des Nörremberg'schen Apparates steht. Mittelst dieser Vorrichtung hat J. Müller bei Anwendung von 20 Bunsen'schen Elementen (5 vierfachen) in einem 5 cm hohen Säulchen von gewöhnlichem Flintglas eine Drehung der Polarisationsebene von 9° bei Umkehrung der Polarität erhalten. Die Dimensionen dieser Vorrichtung hängen natürlich von dem Apparat ab, an welchem sie angebracht werden soll.

Fig. 699.



Gesetze der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene. 216 Ueber den Zusammenhang zwischen der Stärke des Stromes, welcher eine Magnetisirungsspirale von der in Fig. 695 dargestellten Art durchläuft und der Drehung der Polarisationsebene in einer Flüssigkeit, welche in entsprechender Weise in die Höhlung dieser Spirale eingebracht wird, hat Wiedemann Versuche angestellt (Pogg. Annal. Bd. LXXXII). Den folgenden Werth der Stromstärke i (nach einer nicht näher definirten Einheit gemessen) ergeben die nebenstehenden Drehungen der Polarisationsebene in Schwefelkohlenstoff für die Strahlen des Spectrums, welche den Fraunhofer'schen Linien D, E und F entsprechen.

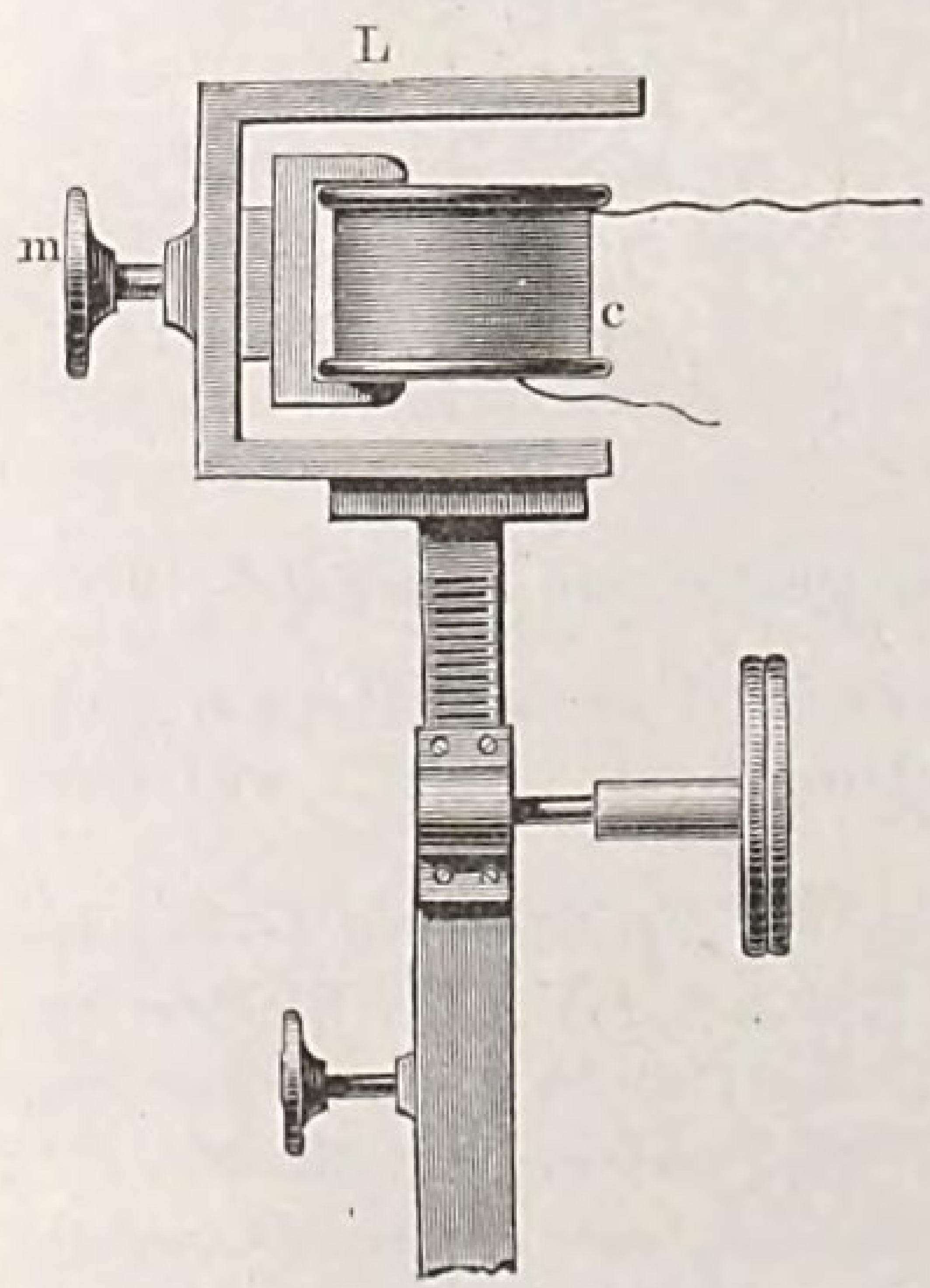
i	D	E	F
260	0·70⁰	1·1⁰	—
394	1·2	1·7	1·9
521	1·5	2·2	2·5

Daraus folgt

1. dass die Drehung der Polarisationsebene der Intensität des Stromes proportional ist;

2. dass die Drehung der Polarisationsebene mit der Brechbarkeit der Strahlen zunimmt; ein bestimmtes Gesetz zwischen der Drehung der Polarisationsebene und der Wellenlänge hat sich jedoch nicht ergeben.

Fig. 700.



Die Abhängigkeit der Drehung der Polarisationsebene in einem Körper, welcher zwischen den Polen eines Elektromagnets aufgestellt ist, von den jeweils auf ihn wirkenden magnetischen Kräften hat Verdet untersucht (Annal. de chim. et de phys. 3. Sér. Bd. XLI). Um die Stärke der magnetisirenden Kraft zwischen den Polen des Elektromagnets, Fig. 693, S. 765, zu messen, wurde an der fraglichen Stelle eine kleine Inductionsspirale c, Fig. 700, in der Weise angebracht, dass man sie mittelst des Knopfes m um eine horizontale Axe drehen konnte, welche rechtwinklig

stand zur Axe der Elektromagnete. Diese Spirale war aus einem 23 m langen, 0·5 mm dicken übersponnenen Kupferdraht gebildet, sie war 15 mm hoch und hatte einen äusseren Durchmesser von 28 mm. Die Drahtenden dieser Spirale waren mit einem entfernt aufgestellten empfindlichen Spiegelgalvanometer verbunden. Die Spirale wurde zunächst so gestellt, dass ihr Mittelpunkt in gleicher Höhe stand mit der Axe der Elektromagnete. Dreht man alsdann die Spirale aus der in unserer Figur dargestellten Lage rasch um 90°, so dass ihre Axe in gleiche Richtung mit der Axe der Elektromagnete zu stehen kommt, so wird in der Spirale ein Strom inducirt, welcher eine entsprechende Ablenkung des Galvanometers bewirkt.

Nachdem durch Beobachtung dieser Ablenkung ein Maass für die Stärke der magnetisirenden Kraft erhalten worden war, welche auf die Stelle wirkt, an welcher sich die Spirale befand, wird nun an dieselbe Stelle das zu untersuchende Diamagneticum gebracht. Dasselbe wurde zu diesem Zwecke auf den Rahmen L gelegt, welcher dann mittelst einer gezahnten Stange so weit gesenkt wurde, dass die Axe des Diamagneticums mit der Axe der Elektromagnete zusammenfiel, dass man also die in dem Diamagneticum hervorgebrachte Drehung der Polarisationsebene beobachten konnte. Mit einem 40 mm langen Stabe von Faraday'schem Glase wurden auf diese Weise folgende Resultate erhalten.

Zahl der verwendeten Bunsen'schen Becher	Abstand der Pole	Magnetisirende Kraft m	Drehung der Polarisationsebene a	$\frac{a}{m}$
20	60	143·4	9° 13·75′	3·86
20	80	115	7 28·50	3·90
10	60	112·4	7 17·75	3·89
10	90	63·6	3 55·75	3·71

Die fast vollkommene Gleichheit des Quotienten $\frac{a}{m}$ beweist, dass die Drehung der Polarisationsebene im Diamagneticum stets der magnetisirenden Kraft proportional ist, welche auf dasselbe wirkt.

Als ein Stück Faraday'schen Glases an verschiedenen Stellen des Raumes zwischen den beiden Polen des Ruhmkorff'schen Elektromagnets aufgestellt wurde, ohne jedoch einem der Pole zu nahe zu kommen, blieb die Drehung der Polarisationsebene fast unverändert dieselbe.

Bertin hat die Drehung der Polarisationsebene untersucht, welche ein kräftiger (Elektro-) Magnetpol auf dasselbe Stück eines Diamagne-

ticums in verschiedenen Entfernungen hervorbringt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer in dieser Beziehung angestellten Beobachtungsreihe:

Versuche mit Faraday'schem Flintglase
38·9 mm dick.

Abstand des Glases von dem Pol	Beobachtete Drehung	$\frac{y'}{y}$	Berechnete Drehung	Unterschied zwischen der berechneten und beob. Drehung
0 mm	11° 12′		11° 12′	0′
1	11 0	0·9821	10 56	— 4
2	10 25	0·9470	10 44	+ 19
3	10 7	0·9712	9 57	— 10
4	9 50	0·9719	9 51	+ 1
5	9 30	0·9661	9 35	+ 5
6	9 20	0·9824	9 16	— 4
7	9 47	0·9417	9 4	— 17
8	8 35	0·9772	8 34	— 1
9	8 20	0·9709	8 22	+ 2
10	7 55	0·9508	8 6	+ 11

Man übersieht leicht, dass, wenn man die Entfernungen in arithmetischer Reihe wachsen lässt, alsdann die entsprechenden Drehungen in nahezu geometrischer Reihe abnehmen; denn wenn man die nächstfolgende Drehung durch die vorhergehende dividirt, so erhält man sehr nahe denselben Quotienten, wie man aus der dritten Columne obiger Tabelle ersieht. Bezeichnen wir durch A die im Contact mit dem Pole vom Flintglas erzeugte Drehung, und mit Ar die von demselben in 1 mm Abstand erzeugte, so ist die Wirkung in x mm Abstand

$$y = Ar^x.$$

Nach dieser Formel sind die Werthe in der vierten Columne der obigen Tabelle berechnet, indem man $r = 0·97587$ setzte, was nahezu dem Mittel aus den Quotienten der dritten Verticalreihe gleich ist.

Wenn sich ein Diamagneticum zwischen zwei Magnetpolen befindet, so ist die Drehung der Polarisationsebene die Summe der Drehungen, welche jeder einzelne Pol in dem Diamagneticum bewirkt.

Danach aber ist das oben angeführte Bertin'sche Gesetz nicht ganz in Uebereinstimmung mit dem von Verdet gefundenen Resultat, dass man das Diamagneticum innerhalb gewisser Gränzen zwischen den Magnetpolen verschieben könne, ohne dass die Drehung der Polarisationsebene vergrössert oder vermindert werde.

Um die Frage zu entscheiden, ob die Drehung der Polarisationsebene, welche durch die Einwirkung von Magnetpolen in einem Diamagneticum hervorgebracht wird, die Summe der Drehungen ist, welche dieselben Magnetpole in den einzelnen Schichten hervorbringen würde, wenn dieselben nicht mit den übrigen in Verbindung ständen, oder ob die einzelnen Schichten noch eine Wirkung auf die benachbarten ausüben, wie dies bei der Magnetisirung von Eisenstäben der Fall ist, brachte Bertin zunächst zwei sich berührende Stücke von Flintglas zwischen die beiden Pole des Elektromagnets und beobachtete die entsprechende Drehung der Polarisationsebene. Alsdann wurde der Reihe nach das erste und nachdem es wieder an seine alte Stelle gebracht worden war, das zweite Stück Flintglas entfernt und die Drehung der Polarisationsebene in dem zurückgebliebenen ermittelt. Folgendes sind einige der von Bertin in dieser Beziehung gemachten Beobachtungen:

Flintgläser	Drehungen bewirkt von den Flintgläsern		Unterschied zwischen der dritten Zahl und der Summe der beiden ersten
	einzeln	zusammen	
Faraday'sches 18·3 mm dick	8° 10′	25° 10′	— 5′
„ 38·9	17 5		
Gemeines 38·9	12 15	19 32	+ 12′
„ 43·5	7 5		

Die elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene in einem Diamagneticum ist demnach gleich der Summe der Drehungen, welche die magnetisirende Kraft unmittelbar in den einzelnen Schichten desselben hervorbringt.

Wenn man ein Diamagneticum so zwischen die beiden Pole eines Elektromagnets bringt, dass die beiden Endflächen mit den entsprechenden Magnetpolen in Berührung bleiben, so nimmt die Drehung der Polarisationsebene nur bis zu einer gewissen Gränze mit der Verlängerung des Diamagnetismus zu, wie z. B. aus folgenden von Bertin mit Wasser gemachten Beobachtungen hervorgeht:

Dicke der Schicht	Drehung
1 cm	2° 0′
2 „	3 30
3 „	4 25
13 „	5 0
15 „	5 0

Es erklärt sich dies dadurch, dass einerseits die Wirkung eines Magnetpols auf entferntere Schichten eine sehr geringe ist, andererseits aber die Stärke der Magnetpole eine geringere wird, wenn sie unter sonst gleichen Umständen weiter aus einander gerückt werden.

Unter sonst gleichen Umständen ist die Drehung der Polarisationsebene in verschiedenen Stoffen sehr verschieden. So fand z. B. Faraday bei gleichen Längen und gleicher magnetisirender Kraft die Drehung der Polarisationsebene in

Schwerem Glas	6°
Flintglas	2·8
Steinsalz	2·2
Wasser	1

Becquerel fand bei gleicher magnetisirender Kraft die Drehung der Polarisationsebene in einer Schicht von 1 cm Dicke für gesättigte

Lösung von Chlorzink	6°
„ „ Chlorcalcium	4·5
„ „ Chlornatrium	4·5
„ „ Wasser	3

für Alkohol und Aether war die Drehung noch geringer als für Wasser.

In einer Magnetisirungsspirale erhielt Becquerel bei gleicher Stromstärke und gleicher Länge der Röhre, welche die zu prüfende Flüssigkeit enthielt, folgende Drehungen:

Wasser	10°
Concentrirte Lösung von Eisenchlorür	3
Schwefelkohlenstoff	29

Das elektromagnetische Drehungsvermögen der Salzlösungen ist, wie Verdet gezeigt hat, wesentlich verschieden, je nachdem die in ihnen enthaltenen Salze magnetisch oder diamagnetisch sind.

Für die Lösungen von Salzen mit diamagnetischem Radical ist das Drehungsvermögen fast durchgängig grösser als für Wasser, so z. B. für die Lösungen von Aluminium-, Magnesium-, Kalium-, Natrium- oder Calciumsalzen. Nur bei wenigen, z. B. dem salpetersauren Ammoniak, findet das Entgegengesetzte statt.

Für die Lösungen von Salzen mit magnetischem Radical, z. B. für die Lösungen von Eisenvitriol, Eisenchlorür und Eisenchlorid ist das Drehungsvermögen meist kleiner als das des Wassers.

Betrachtet man die durch eine Salzlösung hervorgebrachte Drehung als die Summe der durch das Wasser und durch das Salz für sich hervorgebrachten Drehung, so ist das Drehungsvermögen solcher Salze, deren Lösungen schwächer drehen als Wasser, ein negatives.

Für Eisenvitriol und Eisenchlorür ist die negative Drehung des Salzes selbst bei den concentrirtesten Lösungen noch nicht so bedeutend, dass sie die positive Drehung des Lösungsmittels gänzlich aufheben könnte. Die Lösungen von Eisenchlorid zeigen dagegen bei stärkerer Concentration selbst negative Drehungen, d. h. solche, welche der Richtung des magnetisirenden Stromes entgegengesetzt sind. Für eine Lösung, welche 40 Proc. Eisenchlorid enthält, ist die negative Drehung schon sechs- bis sieben Mal grösser als die positive des Wassers, sie ist also ungefähr gleich der des Faraday'schen Glases. Das negative Drehungsvermögen einer Lösung von 55 Theilen Eisenchlorid in 45 Theilen Holzgeist ist ungefähr doppelt so stark als das des Faraday'schen Glases.

217 **Thierische Elektricität.** Da einerseits die Inductionsströme vorzugsweise kräftige physiologische Wirkungen hervorbringen und andererseits das Verständniss der physiologischen Wirkungen der Elektricität sowohl als auch der Erscheinungen der thierischen Elektricität die Kenntniss der Inductionserscheinungen voraussetzen, so ist hier der passendste Platz, diese Gegenstände näher zu betrachten.

Die Zuckungserscheinung, welche wir bereits S. 226 kennen gelernt haben, und deren Beobachtung eine neue Aera der Elektricitätslehre eröffnete, ist ein zusammengesetztes Phänomen. — Galvani suchte, wie wir bereits gesehen haben, die Quelle der Elektricitätserregung in dem Froschpräparate selber, während Volta dagegen die Behauptung aufstellte, dass die Zuckung lediglich durch einen elektrischen Strom erzeugt werde, dessen Quelle ausserhalb des Froschpräparates zu suchen sei und als deren Sitz er die Berührungsstelle der heterogenen Metalle bezeichnete, aus welchen der Leitungsbogen zusammengesetzt ist.

Volta's Ansicht errang zunächst den Sieg und allerdings ist es vorzugsweise, wenn auch nicht ausschliesslich, die ausserhalb des Präparates entwickelte Elektricität, welche die Zuckung bei der ursprünglichen Form des Galvani'schen Zuckungsversuches hervorruft. — Wenn das Froschpräparat noch sehr empfindlich ist, so gelingt es allerdings, wie schon Galvani zeigte, auch Zuckungen nicht allein mit gleichartigem Metallbogen, sondern auch ganz ohne Metalle hervorzubringen. Wenn aber die Empfindlichkeit des Präparates so weit abgenommen hat, dass sich unter diesen Umständen keine Zuckungen mehr zeigen, so treten sie bei Anwendung eines aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzten Schliessungsbogens sogleich wieder ein.

Wenn nun dadurch auch die Ueberlegenheit eines aus heterogenen Metallen gebildeten Schliessungsbogen dargethan ist, so findet doch, wie

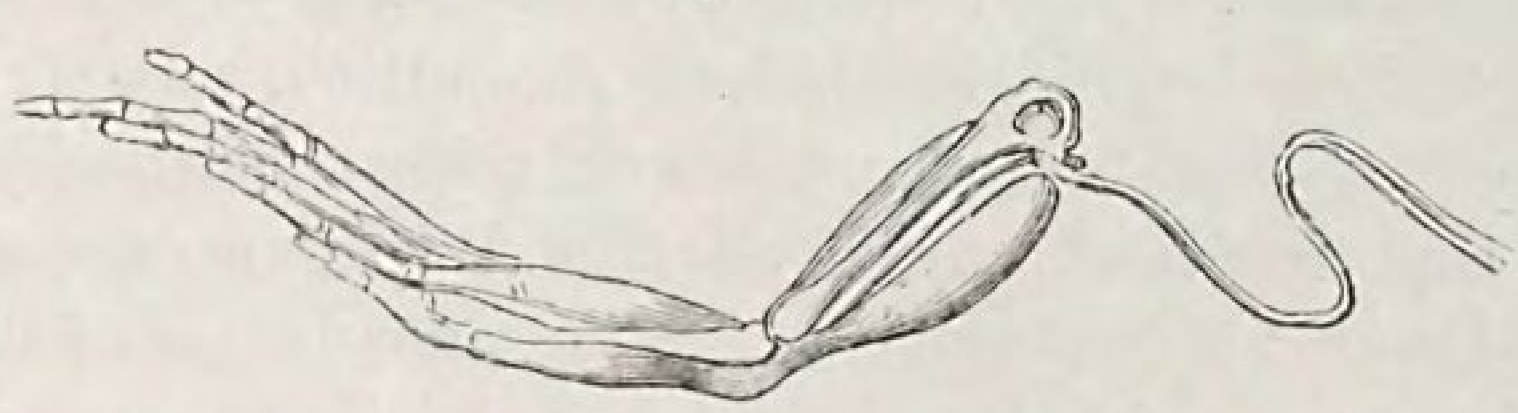
wir in den folgenden Paragraphen sehen werden, auch in den Muskeln des Froschpräparates selbst eine Elektricitätsentwickelung statt, wenn auch in anderer Weise als es Galvani sich vorstellte, und diese Elektricitätsentwickelung ist es, welche allein die Zuckung ohne Metalle bewirkt, die wir bald näher werden kennen lernen.

Soviel ist aber aus dem Gesagten schon klar, dass das Froschpräparat ein sehr empfindliches Rheoskop ist, welches in vielen Fällen selbst mit dem Multiplicator wetteifert. — Wir haben bereits früher gesehen, dass eine Volta'sche Säule von vielen Plattenpaaren auch in dem lebenden Körper Zuckungen hervorbringen kann, welche denen des galvanischen Froschpräparates entsprechen.

Wenn der Froschschenkel schon unter Umständen zuckt, unter welchen am lebenden Körper auch nicht die leiseste Spur eines Schlages wahrzunehmen ist, so liegt der Grund davon lediglich darin, dass bei dem galvanischen Präparat der Strom in einer ganzen Strecke seiner Bahn auf den Nerven allein angewiesen ist, während er beim lebenden Körper einen Leiter von viel grösserem Querschnitt, die Arme z. B., durchläuft, so dass also nur ein unbedeutender Theil des gesammten Stromes auf die Nerven kommt.

Um das Froschpräparat recht empfindlich zu machen, kommt es darauf an, sich ein möglichst langes Stück des Nerven freiliegend zu verschaffen; dies ist bei dem stromprüfenden Froschschenkel der Fall, welcher Fig. 701 abgebildet ist. Er besteht aus einem blossen Unter-

Fig. 701.



schenkel vom Frosch, an welchem der ganze Verlauf des Nervus ischiadicus von der Kniekehle bis zu den Lendenwirbeln erhalten ist.

Ein stromprüfender Froschschenkel kann also zur Nachweisung schwacher elektrischer Ströme gebraucht werden, welche man durch den Nerven des Präparates gehen lässt; der stromprüfende Schenkel kann also als ein Rheoskop dienen, welches wir von dem magnetischen und dem chemischen als physiologisches Rheoskop unterscheiden wollen.

Die Eigenthümlichkeiten des physiologischen Rheoskops werden wir im folgenden Paragraphen kennen lernen.

Allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom. 218 Schliesst man eine Volta'sche Säule von nicht übermässig vielen Plattenpaaren durch den menschlichen Körper, indem man jeden der Pole der Säule mit einer Hand berührt, so fühlt man einen Schlag; der fortdauernd durch den Körper circulirende Strom bringt

kaum eine merkliche Wirkung hervor, während man einen zweiten Schlag empfindet, im Moment, in welchem man die Kette öffnet.

Aehnliches beobachtet man beim stromprüfenden Froschschenkel. Er antwortet nur auf das Eintreten und Aufhören des Stromes oder, allgemeiner ausgedrückt, nur auf die Schwankungen der Stromstärke, verhält sich aber ruhig während der Dauer eines gleichbleibenden Stromes.

Du Bois-Reymond hat dies in präciser Fassung als oberstes Gesetz der elektrischen Reizversuche in folgender Weise ausgesprochen:

Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum anderen, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, welche diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Grösse vor sich gingen oder je grösser sie in der Zeiteinheit waren.

Dadurch erklärt sich nun auch, warum man bei Entladung einer Leydener Flasche einen so heftigen Schlag fühlt. Obgleich die dabei durch den Körper gehende Elektricitätsmenge ausserordentlich gering ist, so ist wegen der grossen Schnelligkeit der Entladung die physiologische Wirkung doch eine sehr bedeutende.

An die Schläge der Leydener Flasche schliessen sich in physiologischer Beziehung zunächst die Wirkungen der Inductionsströme an.

Es muss hier noch bemerkt werden, dass das oben ausgesprochene Gesetz in aller Strenge nur für die Bewegungsnerven gilt. Was die Empfindungsnerven betrifft, so sind sie sämmtlich, so weit sie sich überhaupt dem elektrischen Strome unterthan zeigen, neben der bei Schwankungen der Dichtigkeitscurve auftretenden Wirkung auch einer Reaction auf die Fortdauer der Strömung in beständiger Grösse fähig.

Schon Volta spricht von einem eigenthümlichen fortdauernden Gefühl, welches man nach dem Schliessen einer Zinksilbersäule von 100 und mehr Plattenpaaren empfindet. Sehr bekannt ist der heftig stechende, brennende Schmerz, den man an verwundeten Hautstellen sogar im Kreise der einfachen Kette verspürt.

Eben so anhaltend ist der elektrische Geschmack.

Was den Gesichtssinn betrifft, so scheint Volta nur den Schliessungs- und Oeffnungsblitz gesehen zu haben; Ritter hat aber schon mittelst der einfachen Kette dauernde Lichtwirkungen beobachtet.

Wenn man den Strom einer Säule von 30 bis 40 Plattenpaaren mittelst Sonden in die Ohren einführt, so beobachtet man ein continuirliches Geräusch etc.

Wenn nun aber in den Empfindungsnerven auch der gleichförmig fortdauernde Strom gefühlt wird, so ist doch selbst bei diesen die Wirkung beim Schluss und Oeffnen bedeutend stärker als die continuirliche.

So zeigt sich denn eine ziemlich grosse Aehnlichkeit zwischen der

Nervenerregung und der Induction, worauf Marianini zuerst aufmerksam gemacht hat.

Der Muskelstrom. Es ist schon bemerkt worden, dass es bereits Galvani gelungen ist, indem er seine Theorie gegen Volta's Angriffe zu vertheidigen suchte, eine Zuckung ohne Metalle hervorzubringen. Schneidet man nach seiner Angabe an dem Galvani'schen Froschpräparat die Nerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelcanal ab, und bringt man sie, ohne sie in eine Flüssigkeit zu tauchen oder sonst einem verändernden Einfluss auszusetzen, mit der Aussenfläche des Schenkels in Berührung, so zuckt der Schenkel. Auch der folgende Versuch ist bereits von Galvani angestellt worden: wenn man zwei mit Salzlösung gefüllte Gläser neben einander stellt, in das eine die Füsse, in das andere die Wirbelsäule des Galvani'schen Präparates eintaucht, so erfolgt eine Zuckung desselben, sobald man die beiden Gefässe durch befeuchtete Asbest- oder Baumwollendochte leitend verbindet. 219

Auch Humboldt stellte Versuche an, welche die Elektricitätsentwickelung in den Froschpräparaten unwiderleglich darthun; allein die bald darauf erfolgte Entdeckung der Volta'schen Säule lenkte die Aufmerksamkeit der Naturforscher so sehr von diesen Versuchen ab, dass sie bald ganz in Vergessenheit geriethen.

Erst nach Entdeckung des Elektromagnetismus wurde dieser Gegenstand wieder aufgenommen. Nobili wollte die Empfindlichkeit seines Multiplicators mit der des Froschpräparates vergleichen. Er stellte den letzteren der eben besprochenen Galvani'schen Versuche in der Weise an, dass er in den leitenden Schliessungsbogen, welcher die beiden Gefässe verbinden sollte, den Multiplicator einschaltete. Bei den ersten Versuchen zuckte das Froschpräparat, aber die Nadel des Multiplicators blieb ruhig; das Froschpräparat war also empfindlicher als der Multiplicator.

Nobili stellte einen neuen vollkommeneren Multiplicator her, und nun gelang es ihm, auf die angedeutete Weise einen ersten Ausschlag von 10^0, 20^0, ja von 30^0 zu erhalten.

Die Ablenkung des Multiplicators war stets so gerichtet, dass sie einen positiven Strom von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füssen zu dem Kopfe im Frosche anzeigte. Diesen Strom, denselben, welcher die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle erzeugt, nennt Nobili „*la corrente propria della rana*“; wir nennen ihn Froschstrom.

Der Froschstrom ist nicht bloss im Augenblicke der Schliessung, sondern dauernd vorhanden; in einem einzelnen Falle erhielt Nobili 5^0 beständiger Ablenkung. — Die Wirkung wird verstärkt, wenn man mehrere Frösche, nach dem Gesetze der Säule geordnet, in den Kreis einführt; zwei Frösche gaben 8^0, drei Frösche gaben 11^0 beständiger Ablenkung. — Das Dasein des Stromes ist von der Fähigkeit des Frosches, mit Zuckung darauf zu antworten, völlig unabhängig, was daraus hervor-

geht, dass die Multiplicatorwirkungen mehrere Stunden fortdauern, während die Zuckungen höchstens nach $\frac{1}{4}$ Stunde aufhören.

Nobili war der Meinung, dass diese Ströme thermo-elektrischen Ursprunges seien.

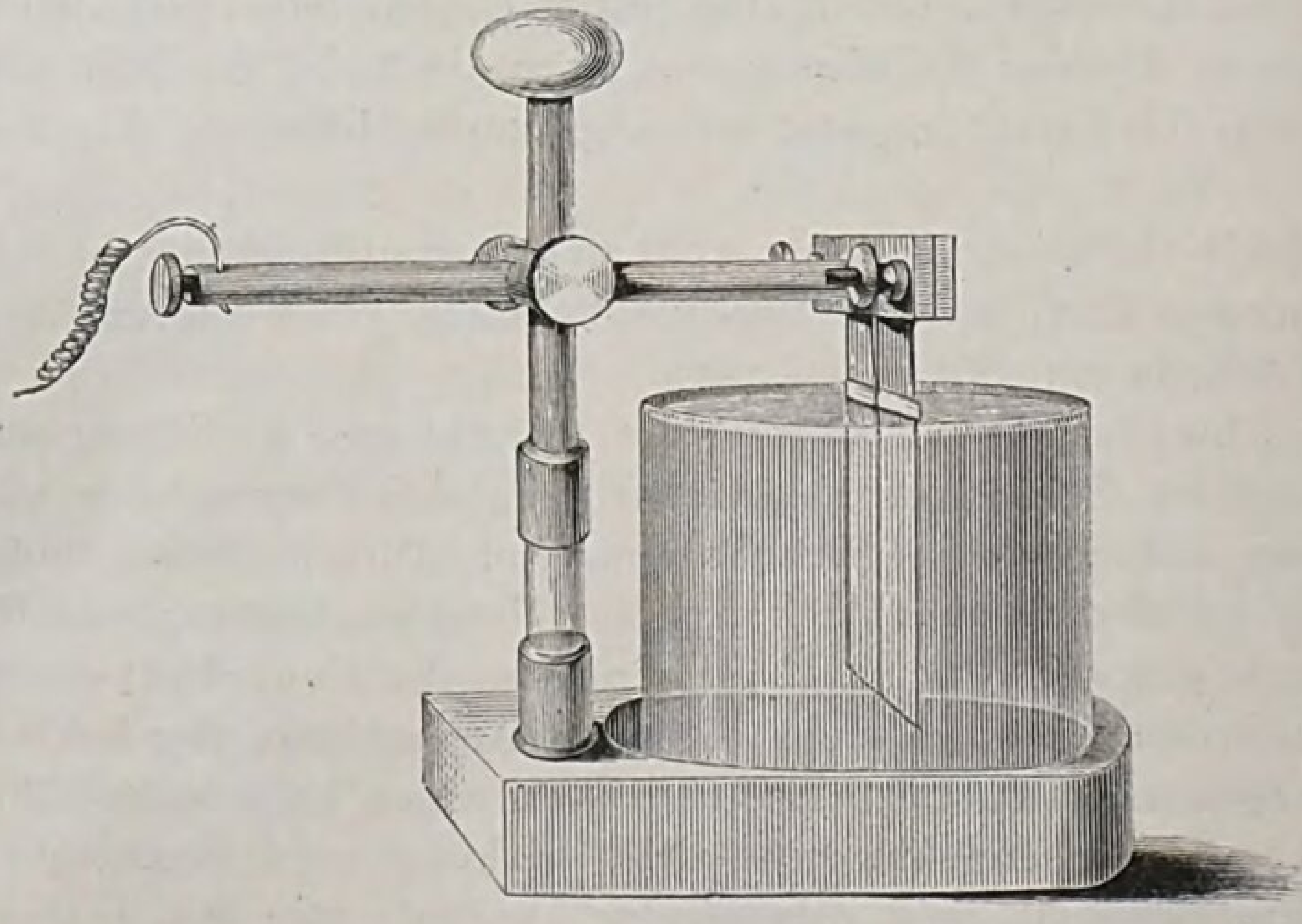
Nach Nobili hat zunächst Matteucci die Untersuchungen über die thierische Elektricität fortgesetzt. Er bediente sich zu seinen Versuchen eines Multiplicators von 2500 Windungen. Die Drahtenden dieser Windungen waren mit Platinplatten versehen, welche in zwei mit verdünnter Salzlösung gefüllte Porcellangefässe tauchten. Die Schliessung der Kette geschah dadurch, dass er die beiden Gefässe mittelst des Froschpräparates verband.

Die wichtigsten Resultate, die er auf diesem Wege erhielt, sind folgende: Man erhält einen Strom, eben so stark wie der des Galvani'schen Präparates, wenn man den ganzen enthäuteten Frosch zum Versuch verwendet und die Füsse in das eine, den Kopf oder Rücken in das andere Gefäss taucht. Mit dem Galvani'schen Präparat erhält man den Strom noch in ungeschwächter Stärke und immer in gleicher Richtung, wenn man, nachdem die Nerven ganz weggeschnitten sind, den Unterschenkel auf der einen, den Oberschenkel auf der anderen Seite eintaucht.

Du Bois-Reymond ging weiter. Er zeigte, dass jeder einzelne Muskel elektromotorisch wirkt, und entwickelte alsbald das wahre Gesetz des Muskelstromes.

Den Versuchen über thierische Elektricität wusste Du Bois eine Sicherheit zu geben, wie man sie bis dahin noch nicht kannte. Zu seinen Versuchen über den Muskelstrom bediente er sich eines Multiplicators

Fig. 702.



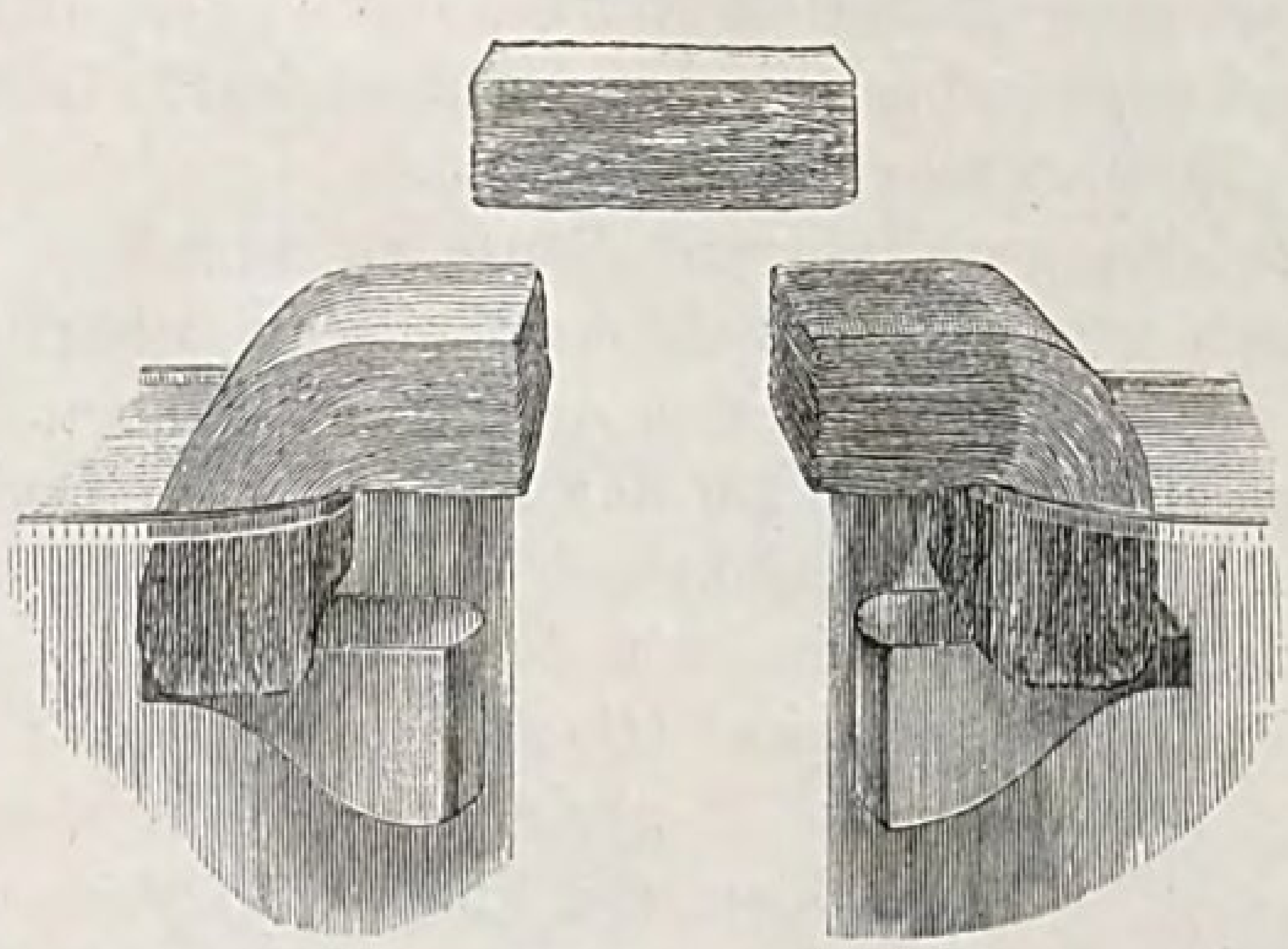
von 4600 Windungen. Mit jedem Ende des Multiplicatordrahtes ist eine Platinplatte in Verbindung gebracht, wie man es Fig. 702 sieht. Die Platte ist durch eine Klemme von Messing gehalten, die sich an einem

Ende eines horizontalen Messingstabes befindet, an dessen anderem Ende das eine Ende des Multiplicatordrahtes eingeschraubt ist. Die Platinplatte hängt in ein mit concentrirter Kochsalzlösung gefülltes Gefäss herab.

Jedes der beiden Multiplicatorenden ist auf diese Weise mit einer Platinplatte versehen, und die beiden Zuleitungsgefässe werden dicht neben einander gestellt. Man braucht diese Zuleitungsgefässe nur durch den zu prüfenden thierischen Körpertheil zu verbinden, um die Wirkung des Muskelstromes auf den Multiplicator zu erhalten.

Das unmittelbare Eintauchen der thierischen Theile in die Salzlösung ist jedoch nur bei gröberen Versuchen zulässig, weil bei feineren Untersuchungen das Anätzen der thierischen Theile durch concentrirte Salzlösung störend wirkt. Für diese Fälle wendet nun Du Bois Bäusche von Fliesspapier an. Es sind dies die Compressen oder Bäusche aus sehr vielen Lagen feinen Fliesspapiers, welche, mit der gesättigten Salzlösung getränkt, auf den Rand der Zuleitungsgefässe aufgelegt werden, wie Fig. 703 zeigt. Sie ruhen, ausser auf dem Rande der Gefässe selbst,

Fig. 703.

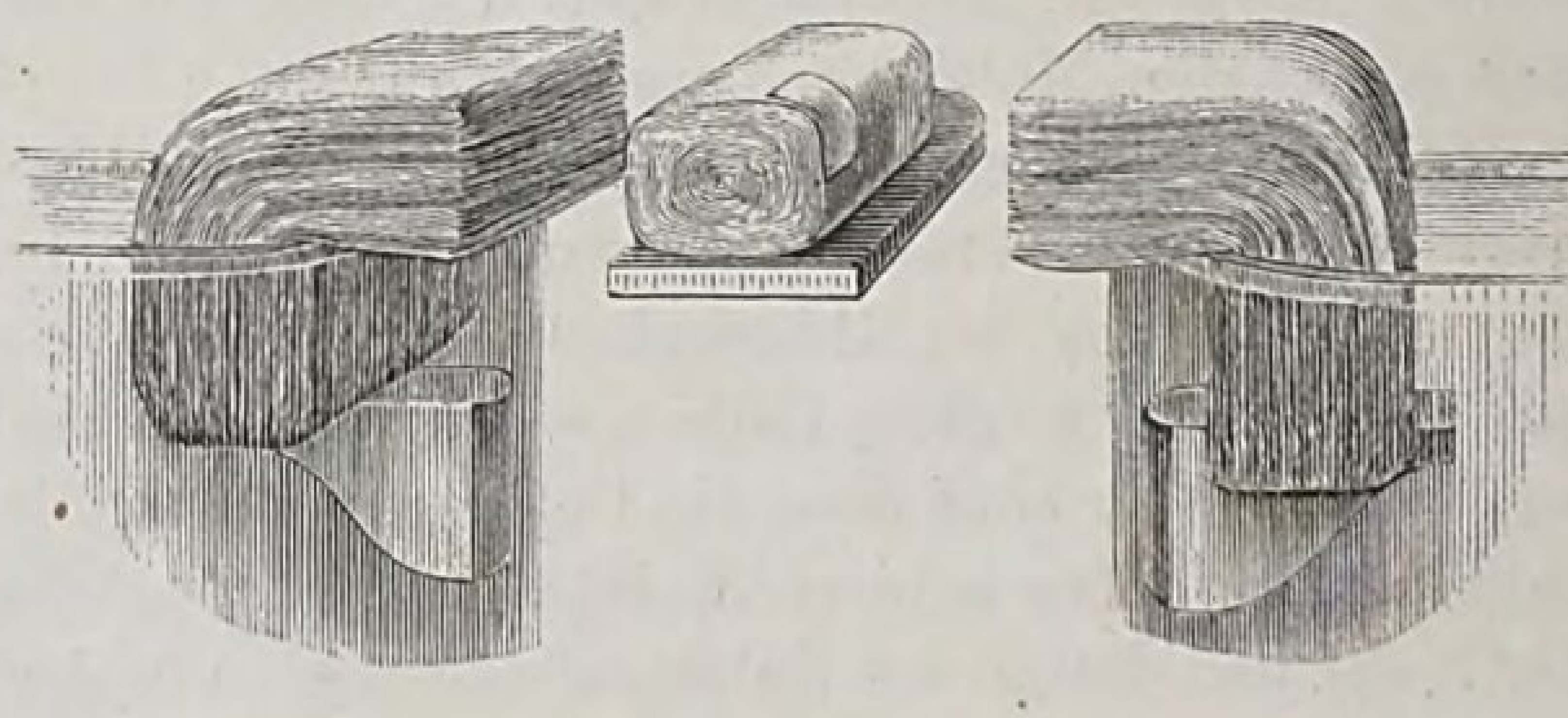


innerhalb derselben noch auf gefirnissten Holzklötzchen, welche an die Wand der Gläser angekittet sind. Man kann diese Bäusche die Zuleitungsbäusche nennen. Die Schliessung der Kette wird durch einen dritten, gleichfalls mit der Salzlösung getränkten Bausch, den Schliessungsbausch, bewirkt, welcher auf die Zuleitungsbäusche gelegt wird. Um den auf Elektricitätserregung zu prüfenden thierischen Körper in die Kette einzuschalten, muss man natürlich erst den Schliessungsbausch entfernen. Nun darf man aber die thierischen Theile nicht unmittelbar auf die Zuleitungsbäusche legen, weil sonst das erwähnte Anätzen stattfinden würde, welches für sich schon Zuckungen hervorbringen kann. Um diese unmittelbare Berührung zu hindern, legt Du Bois an derjenigen Stelle der Bäusche, wo die thierischen Körpertheile applicirt werden sollen, erst ein sogenanntes Eiweisshäutchen auf, d. h. ein Stückchen getrockneter Schweinsblase (20 mm lang, 13 mm breit), wel-

ches in Eiweiss vollständig aufgeweicht worden ist. Auf den Bausch kommt also das Eiweisshäutchen und auf dieses erst der thierische Elektromotor.

Zu manchen Versuchen ist noch ein Zwischenbausch nöthig, welcher zwischen den Bäuschen der Zuleitungsgefässe in der Weise angebracht ist, wie Fig. 704 zeigt.

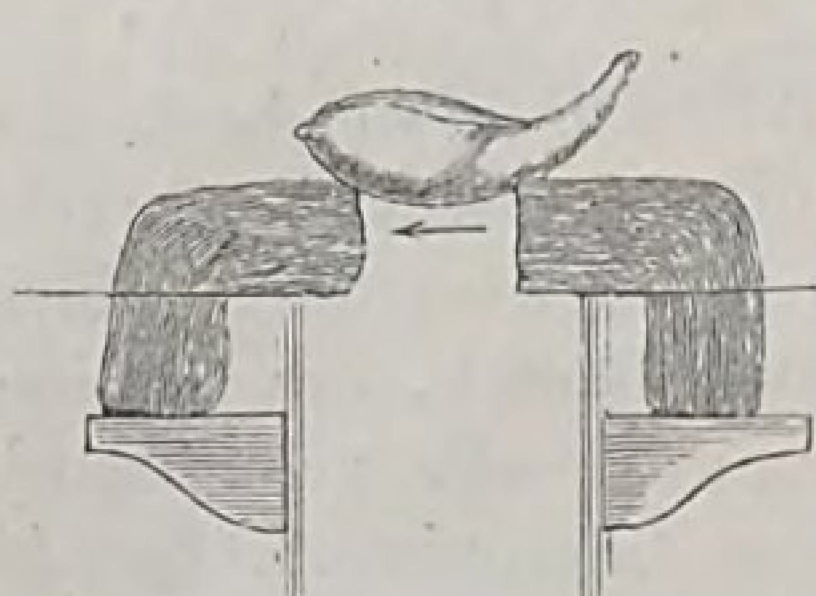
Fig. 704.



Näheres über die bei diesen Versuchen zu beobachtenden Vorsichtsmaassregeln findet man ausführlich in Du Bois-Reymond's klassischem Werke „Untersuchungen über thierische Elektricität", Berlin 1848 und 1849, sowie in physiologischen Lehrbüchern.

Sind die Zuleitungsgefässe mit Bäuschen versehen, so wird der Schliessungsbausch aufgelegt, damit etwaige Ungleichheiten im Polarisationszustande der Platinplatten sich ausgleichen können. Ist die Nadel wieder zur Ruhe gekommen und auf den Nullpunkt der Theilung zurückgekehrt, so wird der Schliessungsbausch entfernt, die Eiweisshäutchen aufgelegt und der Zwischenraum mit dem zu prüfenden Muskel, etwa mit dem grossen Wadenmuskel (*Gastroknemius*) des Frosches überbrückt, wie Fig. 705 andeutet. Sogleich erfolgt ein bedeutender Ausschlag der Nadel. Lässt man den Muskel ruhig liegen, so bekommt die Nadel nun eine beständige Ablenkung, welche jedoch viel geringer ist, als man nach dem ersten Ausschlage zu glauben geneigt sein möchte, weil sich in Folge des primitiven Stromes starke Ladungen auf den Platinplatten entwickeln.

Fig. 705.



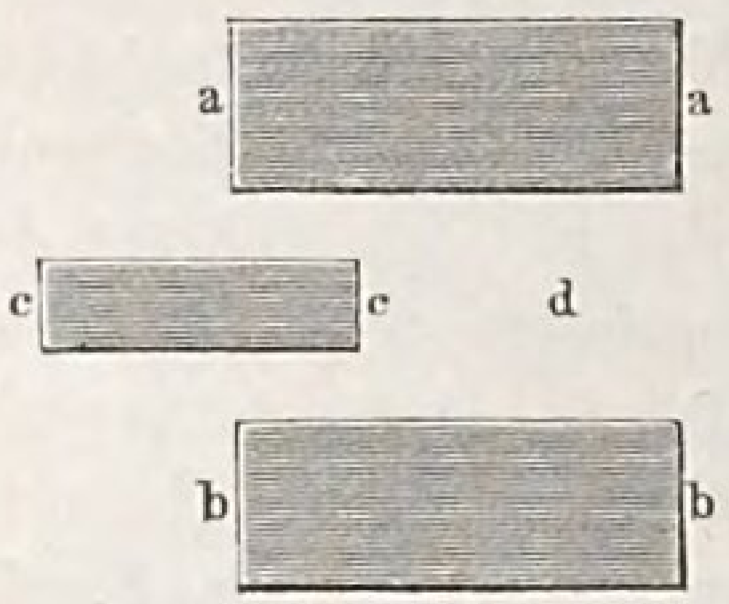
Der Strom des Gastroknemius wirft bei einem guten Multiplicator die Nadel anfangs gegen die Hemmung, während die beständige Ablenkung nur 10 bis 20 Grad beträgt.

Entfernt man nun den thierischen Elektromotor wieder, so wird ein dem früheren entgegengesetzter Ausschlag erfolgen, wenn man den Schliessungsbausch von Neuem auflegt. Dieser zweite Ausschlag rührt davon her, dass die Platinplatten durch den thierisch-elektrischen Strom

galvanisch polarisirt worden sind und sich nun diese Ladung wieder ausgleicht.

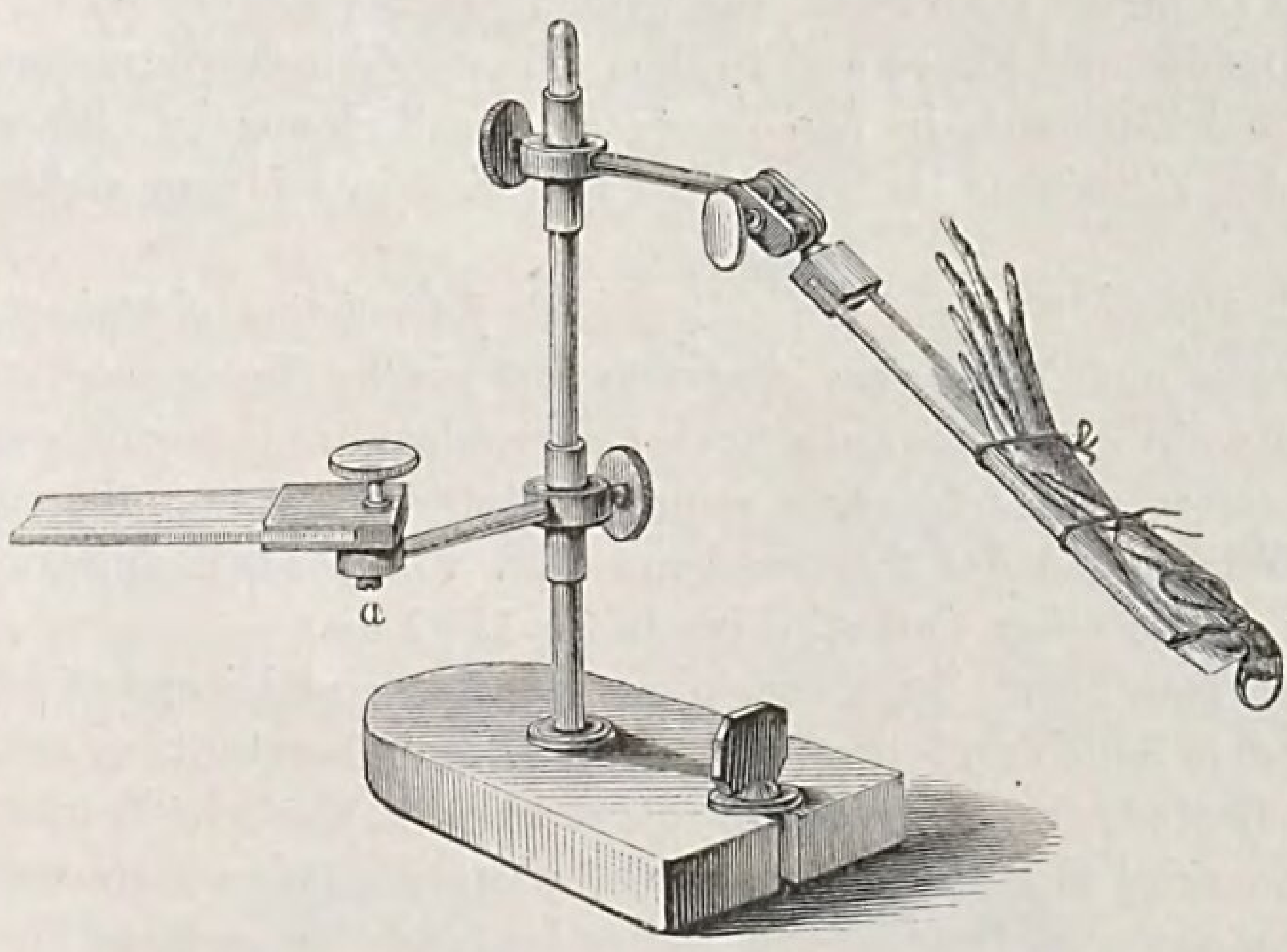
Die Zuckung ohne Metalle kann man sehr sicher mit Hülfe der Du Bois'schen Bäusche in folgender Weise erhalten: Zwischen zwei Bäusche *a* und *b*, Fig. 706, ist ein Zwischenbausch *c* auf der einen Seite so eingeschoben, dass auf der anderen Seite der ganze Zwischenraum zwischen *a* und *b* frei bleibt. Der Zwischenraum zwischen *a* und *c* wird in der angegebenen Weise durch den Gastroknemius, der zwischen *b* und *c* durch den Nerven des stromprüfenden Froschschenkels überbrückt. Man bindet zu diesem Zwecke den stromprüfenden Froschschenkel auf einer Glasplatte fest, welche durch ein Fig. 707 abgebildetes Stativ getragen wird. Man bringt das Stativ und die Bäusche in die gehörige Nähe, um das freie Nervenende des stromprüfenden Froschschenkels bequem zwischen den Bäuschen *b* und *c* auflegen zu können.

Fig. 706.



Ist Alles gehörig vorbereitet, so wird die Kette geschlossen, indem man bei *d* einen Schliessungsbausch auflegt, welcher *a* und *b* leitend

Fig. 707.



verbindet. Ist der stromprüfende Froschschenkel noch empfindlich genug, so zuckt er sowohl beim Auflegen als auch beim Wegnehmen des Schliessungsbausches; hat seine Empfindlichkeit abgenommen, so zuckt er entweder nur beim Auflegen oder nur beim Wegnehmen des Schliessungsbausches.

Auch die Nerven sind, wie Du Bois zuerst gezeigt hat, im Stande, einen elektrischen Strom zu erzeugen, welcher freilich viel schwächer

ist als der Muskelstrom. Eine eingehendere Besprechung der Gesetze des Muskel- und Nervenstromes müssen wir physiologischen Werken überlassen.

220 **Elektrische Fische.** Man weiss schon seit langer Zeit, dass der Zitterrochen die Eigenschaft hat, der Hand, die ihn angreift, eigenthümliche Schläge zu ertheilen. Um diese Wirkungen zu erklären, nahm man früher an, dass der Zitterrochen lähmende Moleküle aussende, dass er wie eine Feder wirke, welche losgeschnellt, oder wie ein in Vibrationen befindlicher tönender Körper (Réaumur, *Académie des Sciences* 1714). Als aber Musschenbroeck zum ersten Male den Schlag einer Leydener Flasche verspürte, hatte er die glückliche Idee, ihn mit dem Schlage des Zitterrochens zu vergleichen und so zwei Erscheinungen, deren Ursprung ganz verschieden schien, auf eine gemeinschaftliche Ursache zurückzuführen. Nun wurden auch der Zitteraal und ähnliche Fische, die man Zitterfische genannt hat, mit dem richtigeren Namen elektrische Fische bezeichnet.

Zu den bis jetzt genauer bekannten elektrischen Fischen gehören 1. aus der Familie der Rochen: die Zitterrochen, *Torpedo narce, sive marmorata*, *Torpedo Galvanii* und *Narcine brasiliensis*. 2. Aus der Familie der Aale: der Zitteraal, *Gymnotus electricus*, der Zitterwels, *Malapterurus* (*Silurus*) *electricus*. Die beiden Arten von *Torpedo* finden sich im mittelländischen Meere und in dem atlantischen Ocean, selten in der Nordsee; die Zitteraale in den Landseen von Südamerika, besonders in Guyana, der Zitterwels im Nil, dem Niger und in anderen afrikanischen Flüssen.

Nach älteren Nachrichten sollen noch *Rhinobatus electricus*, *Tetrodon electricus* und *Trichiurus electricus* elektrische Eigenschaften haben, doch sind wohl diese Angaben noch als problematisch anzusehen.

Die ersten einigermaassen genauen Untersuchungen über die elektrischen Wirkungen des Zitterrochens sind von Walsh angestellt worden. Er stellte seine Versuche im Jahre 1772 an.

Wenn man durch den menschlichen Körper eine leitende Verbindung zwischen dem Bauch und dem Rücken des Thieres herstellt, so erhält man eine dem Entladungsschlag der Leydener Flasche ähnliche Erschütterung. Am besten zeigt sich die Erscheinung, wenn man den Zitterrochen mit dem Bauch auf einen metallenen Teller legt, mit einer Hand den Teller und mit der anderen den Rücken des Thieres berührt. Dieser Schlag ist selbst durch eine Reihe von mehreren Personen noch fühlbar, von denen die erste den Fisch am Leib, die letzte am Rücken anfasst. Die geringste Unterbrechung der Leitung im Schliessungsbogen verhindert den Schlag.

Im Wasser sind die Schläge immer weniger intensiv als in der Luft, man erhält sie aber auf dieselbe Weise und unter denselben Bedingungen. Da das natürliche Wasser ein ziemlich guter Leiter ist, so begreift man,

dass ein kräftiger Zitterrochen in die Ferne wirken kann, und dass es nicht mehr nöthig ist, ihn direct zu berühren. Walsh hat in der That beobachtet, dass der Zitterrochen auf einige Entfernung hin kleine Fische erschlägt, oder wenigstens betäubt.

Wenn der Zitterrochen einen Schlag giebt, so ist es stets ein willkürlicher Act; manchmal kann man ihn mehreremal hinter einander ohne Erfolg berühren; wenn man ihn aber reizt, indem man ihn in die Flossfedern kneift, so kann man fast immer sicher sein, verstärkte Schläge zu erhalten. Walsh hat manchmal an 50 Entladungen in einer Minute gezählt.

J. Davy hat zuerst die Identität der Elektricität des Zitterrochens mit der Reibungs- und Berührungselektricität factisch dargethan, indem er mittelst derselben Stahlnadeln magnetisirte, die Magnetnadel ablenkte und chemische Wirkungen hervorbrachte.

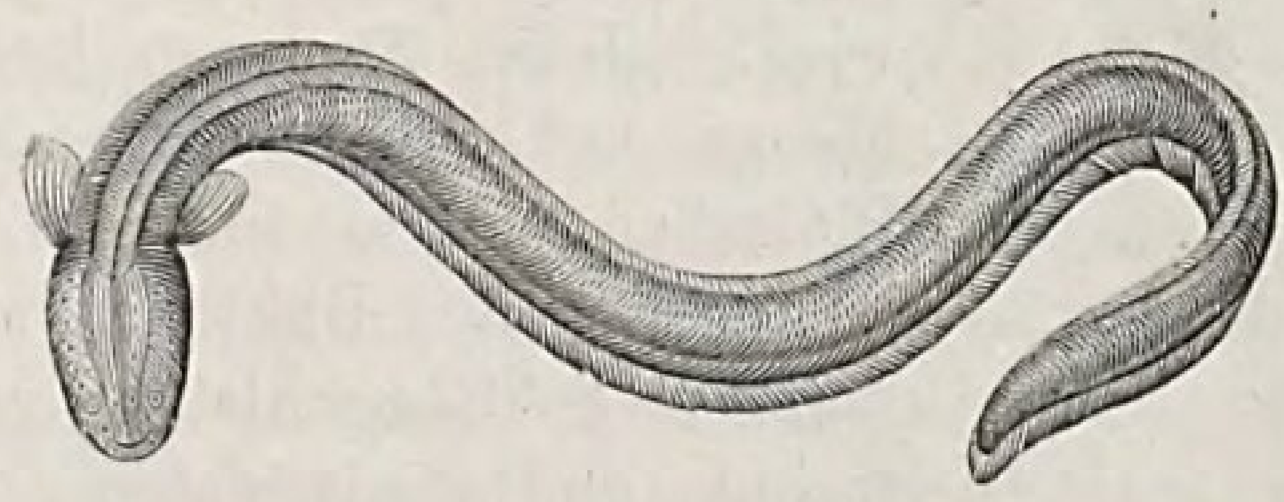
Becquerel und Breschet haben mehrere interessante Beobachtungen an Zitterrochen von Chioggia nahe bei Venedig gemacht. Sie haben z. B. mit Hülfe eines guten Galvanometers dargethan, dass der positive Strom immer vom Rücken durch das Galvanometer zum Bauch geht; sie haben auch von Neuem bestätigt, dass der Zitterrochen willkürlich an den verschiedenen Stellen seines Körpers Schläge geben kann.

Matteucci, welcher ebenfalls interessante Versuche über die Zitterrochen des adriatischen Meeres gemacht hat, ist dahin gelangt, durch die Elektricität dieser Thiere vollkommen sichtbare Funken zu erhalten. Er applicirte zu diesem Zweck zwei metallische Armaturen, die eine auf dem Rücken, die andere auf dem Bauche des Fisches; mit jeder dieser Armaturen setzte er ein Goldblättchen in Verbindung und brachte dann die beiden Goldblättchen sehr nahe an einander; so oft nun das Thier gereizt wurde, sprang ein Funken zwischen den Goldblättchen über.

Matteucci fand auch die schon von Becquerel und Breschet gemachte Beobachtung bestätigt, dass der Rücken positiv, der Bauch negativ elektrisch ist.

Auch Linari hat in der neuesten Zeit diese Untersuchungen mit Erfolg fortgesetzt, er hat ebenfalls Funken zu gewinnen gewusst und

Fig. 708.



an einem empfindlichen Condensator Zeichen elektrischer Spannung erhalten.

Der Zitteraal, Fig. 708, welcher auch der surinamische Aal genannt wird, hat eine noch weit grössere elektrische Kraft als der Zitter-

rochen. Walsh liess sich Gymnoten von Surinam kommen, mit welchen er die Resultate bestätigte, die er einige Jahre vorher an dem Zitterrochen erhalten hatte; er machte aber ausserdem noch die wichtige Beobachtung, dass sich der Schlag des Zitteraals von einem Leiter zu einem anderen durch eine dünne Luftschicht hindurch fortpflanzen kann und dass man in diesem Falle einen elektrischen Funken überspringen sieht.

Das Organ, in welchem sich die Elektricität entwickelt, hat bei den verschiedenen elektrischen Fischen im Wesentlichen dieselbe Textur, dasselbe Ansehen, obgleich seine Gestalt, seine Grösse und seine Anordnung verschieden ist. Wir wollen versuchen, eine Idee von dem Organe des Zitterrochens zu geben, welches am genauesten untersucht worden ist.

Die Fig. 709 stellt einen Zitterrochen von oben gesehen dar, welcher auf der einen Seite geöffnet ist, so dass man das elektrische Organ sieht. Es geht vorn bis dicht an den Vorderrand des Kopfes, seine obere Fläche stösst mittelst einer faserigen Haut an die Haut des Rückens, seine untere an die des Bauches, seine äussere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenflosse, seine innere an der Musculatur des Kopfes und des vorderen Theiles des Rumpfes. Von oben oder unten gesehen, zeigt das elektrische Organ polygonale oder rundliche Abtheilungen, Fig. 710; von der Seite aber sieht man parallele Streifen, wie Fig. 711 zeigt. Das ganze Organ besteht also aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen, deren Axe die Richtung vom Bauche zum Rücken hat. Die Randbegränzung jeder Säule bildet eine etwas dichtere sehnige Membran, welche, wie es scheint, dieselben Dienste leistet, wie die Glasstäbe, zwischen welchen die galvanische Säule aufgebaut wird. Jedes Säulchen besteht aus einer Menge auf einander geschichteter feiner Blättchen; diese kleinen, bald ebenen, bald gebogenen Blättchen sind durch sehr klebrige Schleimschichten von einander getrennt, und somit bieten diese Säulchen in ihrer Construction eine grosse Aehnlichkeit mit einer aufgebauten galvanischen Säule dar.

Fig. 709.

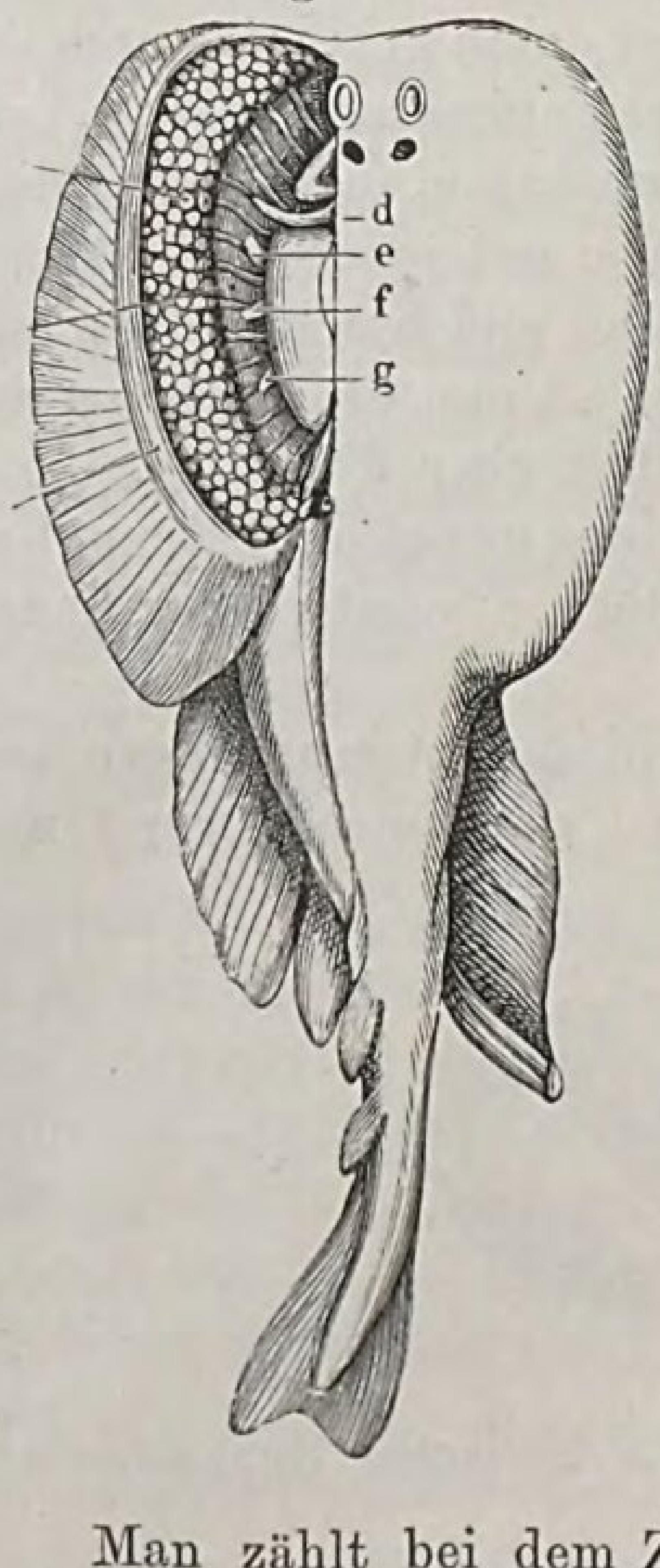


Fig. 710.

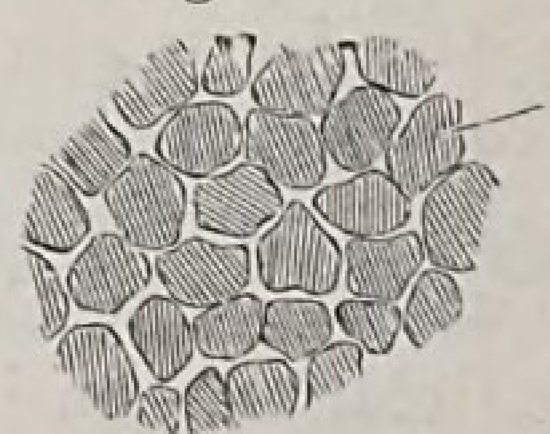
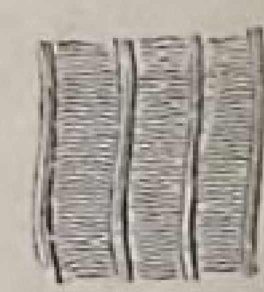


Fig. 711.



Man zählt bei dem Zitterrochen gewöhnlich 400 bis 500 solcher Säulchen auf jeder Seite desselben; Hunter zählte deren sogar bei

einem sehr grossen Exemplare von $1\frac{1}{2}$ m Länge 1184. Vier starke Nervenbündel, *d*, *e*, *f* und *g*, Fig. 709, vertheilen sich in das elektrische Organ.

Bei dem Zitteraal liegt das elektrische Organ in dem sehr langen Schwanze. Bei diesem Thiere nämlich liegt der After so weit nach vorn, dass der Schwanz des Gymnotus fast $4\frac{1}{2}$ Mal so lang ist als Kopf und Rumpf zusammengenommen; das elektrische Organ liegt fast der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb der Wirbelsäule, so dass der elektrische Apparat dieses Thieres eine bedeutende Ausdehnung hat, woher es denn auch kommt, dass der Zitteraal so ausserordentlich starke Schläge ertheilen kann.

Bei dem Gymnotus stehen die Säulchen, welche das elektrische Organ bilden, nicht senkrecht wie beim Zitterrochen, sondern sie laufen in der Richtung des Schwanzes fort, so dass die Scheibchen, aus denen sie bestehen, senkrecht stehen; daher kommt es denn auch, dass beim Zitteraal der positive Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze, also nicht wie beim Zitterrochen vom Rücken zum Bauche geht.

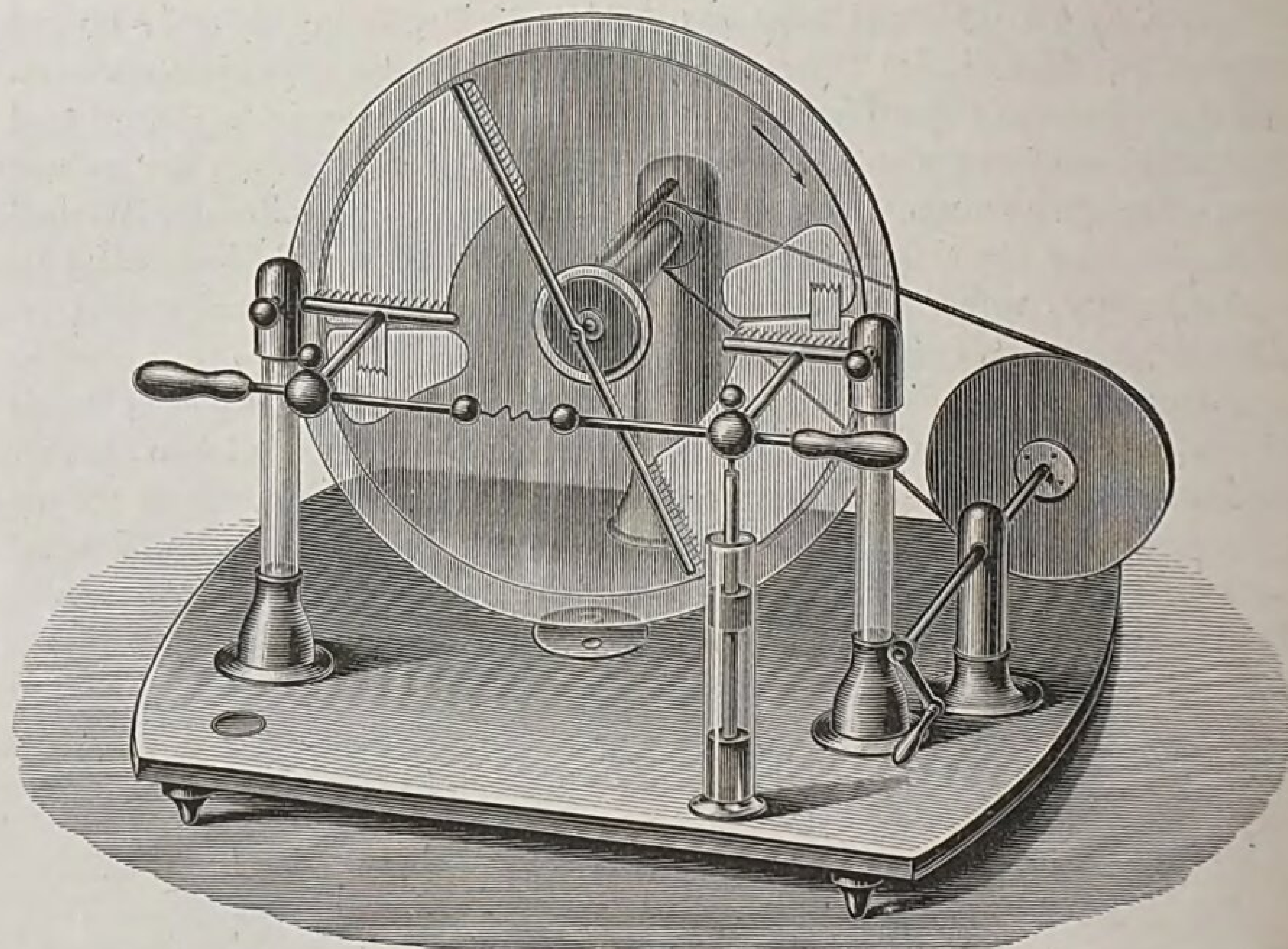
Nachtrag

zu Band III, Seite 118.

Die in den Figuren 106 bis 111 abgebildete Influenzmaschine von Holtz wurde seither in ihrer Bauart etwas abgeändert. Wir geben daher hier nachträglich die Abbildung (a. f. S.) nach neuerer Construction.

Dieselbe (Pogg. Ann. CXXXVI) unterscheidet sich von der früheren namentlich dadurch, dass die bewegliche Scheibe um einen einseitig befestigten Zapfen schwingt, wodurch eine bequeme und zugleich wandelbare Befestigung der beiden schrägen Einsauger, welche hier gewissermaassen einen Doppelconductor bilden, ermöglicht wird. Die feste Scheibe ruht auf einer kleinen Ebonitplatte mit Nute, während ein von hinten in ihre mittlere Oeffnung greifender Ebonithaken sie vor dem Umfallen schützt. Gegen zwei peripherische Stellen wirken nebenbei zwei Ebonitscheiben, welche in den Köpfen seitlich gestellter Isolatoren befindlich sind. Die letzteren dienen gleichzeitig zur Befestigung der Hauptconductoren, durch deren nach vorne gerichtete Arme die Entladungsstangen gehen. Gedachte Isolatoren sind drehbar, damit man die Einsauger abstellen und so die Glasscheiben leicht aus- und einsetzen kann. Als Condensatoren fungiren zwei Leydener Flaschen von besonderer

Form und grösserer Glasdicke, deren äussere Belegungen durch einen unterhalb der Maschine verlaufenden Leiter verbunden sind. Will man



die Maschine bei Anwendung aller vier Einsauger in Gang setzen, so muss man zunächst die Elektroden von einander entfernen, bevor man den Erreger wirken lässt. Anders, wenn man die schrägen (die sogenannten Hülfs- oder Nebenconductoren) abzieht; dann muss man die Elektroden erst vereinigen, bevor man den Erreger wirken lässt. Bei den meisten Versuchen, namentlich wo es sich um grössere Schlagweiten handelt, ist indessen aus früher erörterten Gründen die Anwendung der schrägen Conductoren nicht zu umgehen. Dies ist im Wesentlichen, nicht im Einzelnen, die Gestalt der Maschine, wie sie neuerdings von Herrn Mechaniker Borchardt in Hannover verfertigt wird. Dem ähnlich ist die Construction der neuen Doppelmaschinen, welche sich dadurch auszeichnen, dass sie fast die dreifache (quantitative) Wirkung einer Einzelmaschine geben.

NAMENREGISTER.

Bemerkung. I bezeichnet Band I; IIa bez. Band II, Abtheilung I; IIb bez. Band II, Abtheilung II; III bez. Bd. III.

A.

Abbe. Kleinste mikroskopische Distanz IIa, 365.
Aepinus. Methode des Doppelstriches III, 11.
Airy. Verschiebung der Ringfiguren in optisch einaxigen Krystallen IIa, 616.
Albert. Drehung der Polarisationsebene in Quarz IIa, 595.
Amici. Prisma IIa, 150.
— Katoptrisches Mikroskop IIa, 357.
— Immersionsmikroskop IIa, 364.
Amaury (Jamin und) Specifische Wärme des Wassers IIb, 319.
Ampère's Regel III, 449.
— Gestell III, 552.
— elektrodynamisches Gesetz III, 564.
— Theorie des Magnetismus III, 570.
— Elementarströme III, 572.
Andrews. Kritische Temperatur IIb, 172, 259.
— Compressionsapparat IIb, 256.
— Graphische Darstellung des Verhaltens der Kohlensäure bei Compression IIb, 257.
— Definition des Dampfzustandes IIb, 262.
— Calorifer IIb, 309.
— Verbrennungswärmen IIb, 378.
— Verbrennungswärme des Wasserstoffs IIb, 382.
— Wärmeentwickelung bei Bildung von Chlorverbindungen IIb, 390.
Andrews. Verbrennungswärme von Metallen IIb, 413.
Angström. Linien des Sonnenspectrums IIa, 150.
— Spectralanalyse IIa, 204.
— Spectrum des Sauerstoffs IIa, 239.
— Emissionsspectra IIa, 241.
— Sonnenspectrum IIa, 251.
— Messung der Wellenlängen des Lichtes IIa, 459.
Appunn. Obertöne-Apparat I, 545.
— Resonator I, 551.
Arago. Länge des Secundenpendels I, 327.
— Brechungsquotienten IIa, 170.
— Polarisation des Lichtes IIa, 494.
— Drehung der Polarisationsebene in Quarz IIa, 595.
— Rotationsmagnetismus III, 720.
Arago (Biot und) Brechungsquotient von Gasen IIa, 94.
Arago und Dulong. Mariotte'sches Gesetz I, 202, 211.
— Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 179.
Arago (Fresnel und) Interferenz polarisirter Lichtstrahlen IIa, 542.
Archimedes. Scheinbarer Gewichtsverlust der Körper in Flüssigkeiten I, 119.
Armstrong. Hydroelektrisirmaschine III, 119.
Arndtsen. Leitungswiderstand bei verschiedenen Temperaturen III, 314.
Arzberger. Elektrische Uhr III, 551.

Atwood. Fallmaschine I, 273.
d'Aubuisson. Ausströmen der Gase I, 381.
— Seitendruck der Gase I, 386.
August. Psychrometer IIb, 630.
Avenarius. Kritische Temperatur für verschiedene Flüssigkeiten IIb, 261.
— Einfluss der Temperatur auf Thermoelektricität III, 595, 597.
Avogadro. Specifische Wärme zusammengesetzter Körper IIb, 330.

B.

Babinet. Luftpumpenhahn I, 222.
— Goniometer IIa, 30, 153.
— Compensator IIa, 612.
— Absorption des Lichtes in doppelt brechenden Krystallen IIa, 657.
v. Babo. Luftpumpe I, 233.
— Absorption der Gase I, 253.
— Anwendung der Schwungkraft I, 298.
— Chemische Wirkungen des Lichtes IIa, 294.
— Spannkraft der Dämpfe im gaserfüllten Raume IIb, 203.
— Spannkraft der aus Salzlösungen sich bildenden Dämpfe IIb, 214.
Baden-Powell. Brechungsquotienten IIa, 168, 170.
Baille. Brechungsquotient IIa, 170.
Bain. Elektrisches Zeigerwerk III, 549.
Bancalari. Diamagnetismus der Flammen III, 754.
Barlow. Gleichheit der Stromstärke an allen Stellen des Stromkreises III, 293.
— Rädchen III, 576.
Barth. Variationen der Lufttemperatur IIb, 597.
Bartholinus. Doppelbrechung im Kalkspath IIa, 500.
Baumé. Aräometer I, 135.
Baumgartner. Specifische Wärme des Wassers IIb, 318.
Beck. Aräometer I, 135.
Becquerel. Phosphorescenz IIa, 280, 282.
— Phosphoroskop IIa, 283.
— Elektromotorische Kraft bei Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten III, 243.
— Säulenelektroskop III, 252.
— Specifische Leitungswiderstände von Metallen III, 310.
Becquerel. Leitungswiderstand bei verschiedenen Temperaturen III, 314.
— Leitungswiderstand der Flüssigkeiten III, 341.
— Anwendung des Joule'schen Gesetzes auf flüssige Leiter III, 372.
— Galvanische Erzeugung von Farbenringen III, 423.
— Thermoelektrische Spannungsreihe III, 591.
— Thermoelektrische Versuche III, 593.
— Thermoelektrische Ströme in einem Metallstück III, 599, 600.
— Thermoelektrisches Verhalten der Flamme III, 615.
Becquerel und Breschet. Zitterrochen III, 785.
Beedsnigder. Achromatisches Objectiv IIa, 356.
v. Beek. Geschwindigkeit des Schalles I, 419.
v. Beetz. Bifilarelektroskop III, 98.
— Fundamentalversuch von Volta III, 233.
— Elektromotorische Kraft bei Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten III, 244.
— Galvanische Kette nach Leclanché III, 275.
— Leitungswiderstand von Flüssigkeiten III, 343.
— Elektromotorische Kraft des Grove'schen Bechers III, 354.
— Vibrationschronoskop III, 545.
Behrens. Trockene Säule III, 248.
— Säulenelektroskop III, 251.
Bell. Telephon III, 711.
Bellani (Six und) Thermometer IIb, 73.
Bennet. Elektroskop III, 95.
— Säulenelektroskop III, 251.
Bérard. Chemische Wirkungen des Lichtes IIa, 294.
Bérard (de la Roche und) Specifische Wärme der Gase IIb, 338.
Bernoulli, D. Schiffsschraube I, 393.
Bernoulli, D. und J. Problem schwingender Saiten I, 473.
Bernoulli, D. Störung der Inclination durch Erdbeben III, 47.
— Wesen der Wärme IIb, 501.
Berthelot. Luftthermometer IIb, 124.
— Apparat zur Bestimmung der Gesammtwärme des Dampfes IIb, 370.
— Apparat zur Bestimmung von Wärmemengen bei chemischen Reactionen IIb, 395.

Berthelot. Thermochemische Grundsätze IIb, 396.
— Zusammenstellung von Wärmeentwickelungen bei Bildung chemischer Verbindungen IIb, 414 bis 419.
— Wärmeentwickelung bei Bildung der hauptsächlichsten festen Salze der Sauerstoffsäuren IIb, 419.
Berthollet. Diffusion der Gase I, 135.
Bertin. Versuche mit Faraday'schem Glase III, 770.
— Drehung der Polarisationsebene in einem Diamagneticum III, 772.
Bertram. Schiefe Ebene I, 593.
Bertsch. Tonhöhe von Pfeifen I, 455.
Berzelius. Wage I, 79.
Bessel. Kalibrirung des Thermometers IIb, 59.
Betancourt. Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 177.
v. Betzold. Mixoskop IIa, 148.
— Anzahl der Blitzschläge III, 213.
Bianchi. Luftpumpe I, 226.
Billet. Halblinsen zur Interferenz IIa, 413.
Biot. Länge des Secundenpendels I, 327.
— Schwingungen der Stimmbänder I, 568.
— Hohlprisma IIa, 80.
— Doppelte Brechung in schwingenden Glasplatten IIa, 540.
— Drehung der Polarisationsebene in Quarz IIa, 596.
— Gesetze über die Drehung der Polarisationsebene IIa, 602.
— Drehung der Polarisationsebene in Flüssigkeiten IIa, 637, in Dämpfen IIa, 638.
— Apparat zur Untersuchung der Circularpolarisation IIa, 638.
— Moleculares Drehungsvermögen IIa, 655.
— Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
— Intensitätscurve des Magnetismus in Stäben III, 22.
Biot und Arago. Brechungsquotient der Gase IIa, 94.
Bischof. Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
Biscovius. Spannung der Stimmbänder I, 569.
Black. Begriff der Wärmemenge IIb, 163.
— Bestimmung der specifischen Wärme IIb, 279.
Blagden und Gilpin. Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
Börner. Brechungsquotienten IIa, 177.
Böttger. Herstellung von Spiegeln IIa, 28.
— Unterkühlung IIb, 138.
— Gefrieren durch Verdampfen IIb, 224.
— Elektrophormasse III, 99.
Bohnenberger. Reversionspendel I, 332.
— Säulenelektroskop III, 252.
Boll. Sehpurpur IIa, 301.
Boltzmann. Dichtigkeitsänderungen am Boden gedeckter Pfeifen I, 454.
— Stroboskopische Beobachtung schwingender Saiten I, 487.
— Dielektricitätsconstanten III, 179.
— Verhalten dielektrischer Körper gegen Influenz III, 183.
Borchardt. Influenzelektrisirmaschine III, 111.
Borda. Länge des Secundenpendels I, 327.
— Pyrometer IIb, 19.
— Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus III, 47.
Bornhardt. Zündelektrisirmaschine III, 174.
Bosscha. Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers IIb, 45.
— Ursache der galvanischen Polarisation III, 363.
— Elektromotorische Kraft des Daniell'schen Elementes III, 438.
Bourdon. Metallbarometer I, 242.
Bontigny. Leidenfrost'sches Phänomen IIb, 210.
Bouvard. Länge des Secundenpendels I, 327.
— Geschwindigkeit des Schalles I, 418.
Bradley. Geschwindigkeit des Lichtes IIa, 5.
v. Breda. Galvanischer Lichtbogen III, 383.
Breguet. Thermometer IIb, 33.
— Telegraphie III, 529.
Brewster. Kaleidoskop IIa, 30.
— Absorptionsspectra IIa, 242.
— Fluorescenz IIa, 264.
— Stereoskop IIa, 324.
— Subjective Farben IIa, 335.
— Loupe IIa, 350.
— Polarisationswinkel IIa, 489.
— Chromatische Polarisation in Glauberit IIa, 590.
— Elliptische Polarisation durch Metallreflexion IIa, 622.
— Wesen des natürlichen Lichtes IIa, 624.
— Doppelbrechung in organischen Stoffen IIa, 664.

Brisson. Aräometer I, 129.
Brix. Verdampfungswärme IIb, 362.
Broch. Drehung der Polarisationsebene in Quarz IIa, 596.
— Messung des Drehungswinkels der Polarisationsebene IIa, 603.
Brown. Abhängigkeit der bei Berührung von Metallen entstehenden Elektricität von den umgebenden Gasen III, 446.
Browning. Automatisches Spectroskop IIa, 210.
— Spectroskop mit gerader Durchsicht IIa, 211, 254.
— Taschenspectroskop IIa, 212.
— (Sorby und) Mikrospectroskop IIa, 215.
Brücke. Loupe IIa, 371.
Brunner. Ausdehnungscoëfficient des Eisens IIb, 28.
— Specifisches Gewicht des Eisens IIb, 90.
Buff. Seitendruck der Gase I, 386.
— Ausströmen der Gase I, 381.
— Leidenfrost'sches Phänomen IIb, 211.
— Wasserzersetzung durch Reibungselektricität III, 200.
— Elektromotorische Kraft bei Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten III, 242.
— Galvanische Kette III, 264.
— Elektromotorische Kraft des Grove'schen Bechers III, 354, des Bunsen'schen Bechers III, 355, des Daniell'schen Elementes III, 438.
— Multiplicator III, 456.
— Töne beim Magnetisiren des Eisens III, 499.
— Thermo - elektrisches Verhalten der Flammen III, 615.
— Disjunctor III, 641.
Bunsen. Absorption der Gase I, 257.
— Diffusion der Gase I, 263.
— Wasserluftpumpe I, 267.
— Bestimmung des specifischen Gewichtes der Gase aus der Ausflussgeschwindigkeit I, 383.
— Photometer IIa, 18.
— Spectralapparat IIa, 205.
— Gasbrenner IIa, 221.
— Darstellung der Spectralbeobachtungen IIa, 230.
— Emissionsspectra IIa, 240.
— Absorption des Lichtes IIa, 249.
— Specifisches Gewicht des Eises IIb, 90.
— Erhöhung des Schmelzpunktes durch Druck IIb, 151.
Bunsen. Spannkraft der Dämpfe einiger Flüssigkeiten IIb, 198.
— Einheit der Wärmemenge IIb, 272.
— Eiscalorimeter IIb, 280.
— Verbrennungstemperaturen IIb, 386.
— Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
— Galvanisches Element III, 266.
— Chromsäureelement III, 270.
— Zersetzungsapparat III, 283.
— Zerlegung der Chlormetalle III, 398.
— Thermo - elektrisches Verhalten der Schwefelmetalle III, 594.
Bunten. Barometer I, 192.
Buys-Ballot. Tonänderung durch Bewegung I, 469.
Byström. Mittlere specifische Wärme einiger Metalle IIb, 323.

C.

Cagniard, Latour. Volumänderung durch Zug I, 89.
— Sirene I, 462.
— Schwingungen der Stimmbänder I, 568.
— Kritische Temperatur einiger Flüssigkeiten IIb, 261.
Cahours. Dichte des ungesättigten Wasserdampfes IIb, 236.
Cailletet. Condensation der Gase IIb, 171.
— Verflüssigung der sogenannten permanenten Gase IIb, 263.
Campani. Ocular IIa, 357.
de Candolle. Wärmeleitung des Holzes IIb, 538.
Canton. Elektroskop III, 95.
Carnot. Kreisprocess IIb, 455.
Carrée. Eisapparate IIb, 223, 225, 227, 655.
— Luftpumpe I, 221.
Cartesius. Taucher I, 122.
— Brechungsgesetz IIa, 68.
Cartier. Aräometer I, 135.
Casella. Minimumthermometer IIb, 75.
Caselli. Pantelegraph III, 536.
Cassegrain. Teleskop IIa, 380.
Casselmann. Lichtstärke des elektrischen Kohlenlichtes III, 383.
Cauchy. Dispersion des Lichtes IIa, 423.
— Beziehung zwischen Brechungsquotient und Wellenlänge IIa, 166.
Cavendish. Doppelbarometer III, 190.
Cazal. Elektromagnetischer Motor III, 503.

Cazin. Verhältniss der Wärmecapacitäten der Luft IIb, 353.
— anderer Gase 354.
Celsius. Thermometerscala IIb. 8.
Charles. Luftballon I, 247.
— Ausdehnung der Gase IIb, 103.
Chevalier. Mikroskop IIa, 355.
Chevandier. Elasticitätsconstanten I, 85.
Chladni. Klangfiguren I, 488.
— Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in festen Körpern I, 520.
Christiansen. Anomale Dispersion IIa, 183.
Clamond. Thermosäule III, 606.
Clausius. Absoluter Nullpunkt IIb, 110.
— Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Drucke IIb, 149.
— Specifisches Gewicht der Dämpfe IIb, 244.
— Wärmecapacität IIb, 274.
— Verdampfungswärme IIb, 368.
— Begriff von Energie, Wärmeinhalt, Werkinhalt IIb, 398.
— Entropie des Weltalls IIb, 469.
— Verhalten des gesättigten Dampfes bei Expansion IIb, 486.
— Kinetische Gastheorie IIb, 501, 504.
— Princip der ungleichen Molecularzustände der Gase IIb, 516.
— Diffusion IIb, 517.
— Wärmebewegung in festen und flüssigen Körpern IIb, 520.
— Influenzwirkung bei Isolatoren III, 183.
— Theorie der Elektrolyse III, 424.
— „ „ Thermo-Elektricität III, 617.
Clement. Saugphänomen der Gase I, 386.
Clement und Desormes. Specifische Wärme der Gase bei constantem Volumen IIb, 351.
Coddington. Loupe IIa, 350.
Cohn. Thermoströme in einem Metall III, 599.
Colladon und Sturm. Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten I, 139.
— Geschwindigkeit des Schalles in Wasser I, 423.
Cooke. Absorptionsspectra IIa, 243.
de Coppet. Erniedrigungscoëfficient der Salzlösungen IIb, 157.
Corun. Geschwindigkeit des Lichtes IIa, 9.
— Messung der Wellenlängen der brechbaren Lichtarten IIb, 653.
Cornu und Jellet. Halbschattensaccharimeter IIa, 651.
Coulomb. Tribometer I, 342.
— Wälzende Reibung I, 345.
— Magnetisches Magazin III, 16.
— Vertheilung des Magnetismus in Stäben III, 21.
— Lage der magnetischen Pole III, 23.
— Methode der Oscillationen zur Messung der magnetischen Kräfte III, 53.
— Torsionswage III, 53.
— Gesetze der elektrischen Fernwirkung III, 124.
— Verlust der Elektricität III, 128.
— Anordnung der elektrischen Ladung auf der Oberfläche isolirter Leiter III, 139.
Cramer. Accommodation IIa, 305.
Crookes. Radiometer IIb, 589.
— Elektrische Entladung in verdünnten Gasen III, 661.
Crova. Wellenmaschine IIa, 405.
Cruikshank. Trogapparat III, 259.
Cunäus. Leydener Flasche III, 149.

D.

Daguerre. Photographie IIa, 291.
Dale. Brechungsquotienten IIa, 170.
Dal Negro. Elektromagnetischer Motor III, 503, 504.
Dalton. Gesetz über die Ausdehnung der Gase IIb, 103.
— Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 177.
— Spannkraft der Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen IIb, 200.
— Gesetz über die Spannkraft der Dämpfe in gaserfüllten Räumen IIb, 201.
Daniell. Doppelhahn zur Knallgasflamme IIa, 389.
— Condensationshygrometer IIb, 628.
— Galvanische Kette III, 263.
— Apparat zur Elektrolyse von Salzlösungen III, 405.
— Zersetzung von Schwefelsäurehydrat III, 414.
Darcet. Legirung IIb, 146.
Davy. Photographie IIa, 291.
— Condensation der Gase IIb, 246.
— Temperatur des Blutes IIb, 387.
— Schmelzen des Eises durch Reibung IIb, 425.
— Sicherheitslampe IIb, 527.
— Galvanischer Lichtbogen III, 381.
— Zerlegung der Alkalien durch den Strom III, 396.
— Schutz des Kupfers durch Berührung mit Zink III, 423.

Davy. Rotation von Stromleitern III, 576.
— Zitterrochen III, 785.
Davy Marié. Galvanische Kette III, 273.
Defour. Theorie des Hagels IIb, 645.
De la Rive. Wärmeleitung des Holzes IIb, 538.
— Theorie des Hagels IIb, 645.
— Polarlicht III, 221.
— Chemische Theorie des Galvanismus III, 256.
— Galvanische Verkupferung III, 419.
— Töne beim Magnetisiren des Eisens III, 499.
— Schwimmender Strom III, 554, 563.
— Magnetischer Hammer III, 625.
— Rotirender Flammenbogen III, 667.
De la Roche und Berard. Specifische Wärme der Gase IIb, 338.
Deleuil. Luftpumpe I, 227.
— Form des Bunsen'schen Bechers III, 269.
Dellmann. Elektrometer III, 129.
Delor und Delibard. Blitzableiter III, 213.
Desaga. Photometer IIa, 21.
Descloiseaux. Geneigte Dispersion IIa, 591.
— Circularpolarisation IIa, 636.
Desormes. Saugphänomen beim Ausströmen von Gasen I, 386.
Desormes (Clement und) Specifische Wärme der Gase IIb, 351.
Despretz. Mariotte'sches Gesetz I, 209.
— Spectralanalyse IIa, 204.
— Maximum der Dichte des Wassers IIb, 78, 79.
— Ausdehnung des Wassers IIb, 81.
— Verdampfungswärme IIb, 363.
— Wärmeleitung fester Körper IIb, 531, 536.
— Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers IIb, 539.
Deville. Dampfdichtebestimmung IIb, 235.
— Dissociation IIb, 375.
Dewar. Theorie des Radiometers IIb, 590.
Diacon. Emissionsspectra IIa, 241.
Ditscheiner. Messung von Wellenlängen IIa, 459.
Divisch. Blitzableiter III, 213.
Döbereiner. Zündmaschine I, 253.
Dollond. Achromatische Linsen IIa, 195.
Domalip. Einfluss der Stromstärke auf Magnetismus III, 484.
Donney. Siedeverzug IIb, 208.
Doppler. Anwendung stroboskopischer Scheiben I, 444.
— Sirene I, 464.
— Einfluss der Bewegung auf die Tonhöhe I, 467.
Dove. Sirene I, 464.
— Polarisationsapparat IIa, 4.
— Unterscheidung positiver und negativer einaxiger Krystalle IIa, 616.
— Erzeugung unpolarisirten Lichtes durch Zusammensetzung polarisirter Lichtstrahlen IIa, 629.
— Mittlere Temperaturen IIb, 603.
— Sirocco IIb, 623.
— Nachweis des Extrastroms III, 634.
Draper. Chemische Wirkungen des Lichtes IIa, 296.
Drimann. Wasserzersetzung durch Reibungselektricität III, 199.
Drobisch. Farbenscala IIa, 338.
Drummond. Kalklicht IIa, 389.
Dub. Einfluss der Stromstärke auf Magnetismus III, 484.
— Magnetische Wirkung einer Stromspirale III, 496.
— Elektromagnetischer Motor III, 503, 516.
Du Bois Reymond. Geschichte des Galvanismus III, 228.
— Schlüssel III, 279.
— Compensationsmethode III, 353.
— Compensator III, 354.
— Multiplicator III, 454.
— Aperiodischer Zustand III, 463.
— Astasirender Magnet III, 469.
— Federmiographion III, 544.
— Schlittenapparat III, 628.
— Gesetz der elektrischen Reizung III, 778.
— Gesetz des Muskelstroms III, 780.
Duboscq. Hohlprisma IIa, 79.
— Stroboskopischer Apparat IIa, 332.
— Laterne IIa, 387.
— Polarisationsapparat IIa, 485.
— Projectionsapparat für Polarisationserscheinungen IIa, 571.
Dufay. Elektrischer Funke III, 90.
Dufour. Specifisches Gewicht des Eises IIb, 90.
— Unterkühlung IIb, 138.
— Siedeverzug IIb, 208.
— Einfluss der Wärme auf Magnetismus III, 28.
Duhamel. Graphische Darstellung der Schwingungen fester Körper I, 515.

Duhamel. Magnetisirungsmethode III, 10.
Dulong. Mariotte'sches Gesetz I, 201, 211.
— Brechungsvermögen von Gasen IIa, 97.
— Verhältniss der Wärmecapacitäten einiger Gase IIb, 354.
— Verdampfungswärme des Wassers IIb, 363.
— Verbrennungswärme IIb, 378.
— Thierische Wärme IIb, 389.
Dulong (Arago und) Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 179.
Dulong und Petit. Messung von linearen Ausdehnungscoëfficienten IIb, 19.
— Resultate IIb, 22.
— Absolute Ausdehnung von Quecksilber IIb, 40.
— Erkaltungsmethode zur Bestimmung der specifischen Wärme IIb, 316.
— Specifische Wärme des Quecksilbers IIb, 321.
— Specifische Wärme einiger Metalle IIb, 323.
— Gesetz über die specifische Wärme und das Atomgewicht fester Körper IIb, 327.
— Wärmeleitungsfähigkeit der Gase IIb, 540.
— Erkaltungsgeschwindigkeit IIb, 585, 588.
Dumas. Dampfdichtebestimmung IIb, 233.
Duprée. Specifische Wärme von Alkoholgemischen IIb, 334.
Dutirou. Brechungsexponenten IIa, 169.
Dutrochet. Endosmometer I, 163.

E.

v. Ebner. Anwendung des Polarisationsmikroskopes zur Untersuchung der Knochensubstanz IIa, 665.
Eckstrand. Dichtemaximum des Wassers IIb, 79.
Edelmann. Hygrometer IIb, 631.
— Quadrantenelektrometer III, 136.
— Messung von elektromotorischen Kräften von Metallcombinationen III, 446.
— Spiegelgalvanometer III, 465.
— Verstellbarer Dämpfer III, 467.
— Dynamoelektrische Maschine III, 695.
Edlund. Temperaturänderung durch Thermoströme III, 612.
Edlund. Nachweis des Extrastroms III, 634.
Egger. Elektromagnetischer Motor III, 503, 510.
— Elektromagnetischer Motor, Messungen an demselben III, 526.
Eisenlohr. Pendelapparat zur Darstellung der Figuren von Lissajous I, 510.
— Messung der Wellenlänge ultravioletter Strahlen IIa, 459.
— Darstellung der Newton'schen Farbenringe IIa, 478.
— Minimum der Ablenkung des Lichtes durch Prismen IIa, 671.
— Widerstandssäule III, 322.
Ekling. Luftpumpe I, 217.
Emsmann. Prisma IIa, 193.
Engelfield. Barometer I, 191.
Ericson. Heissluftmaschine IIb, 471.
Ermann. Spannungsdifferenz an den Polen einer geschlossenen Kette III, 325.
Esselbach. Wellenlänge ultravioletter Strahlen IIa, 461, 560.
v. Ettingshausen. Ampère's Fundamentalversuche III, 566.
Euler. Undulationstheorie IIa, 395.
Exner. Dichtemaximum des Wassers IIb, 80.
— Theorie des Galvanismus III, 242, 257.
— Theorie der galvanischen Polarisation III, 262.
— Elektromotorische Kraft der Polarisation III, 360.
— Ursache der galvanischen Polarisation III, 363.
— Theorie des Volta'schen Elementes III, 440.
— Theorie des Volta'schen Fundamentalversuches III, 443.
— Elektromotorische Kräfte verschiedener Metallcombinationen III, 445.

F.

Fahrenheit. Heliostat IIa, 39.
— Thermometerscala IIb, 8.
— Unterkühlung des Wassers IIb, 137.
Fairbairn und Tate. Specifisches Gewicht des gesättigten Dampfes IIb, 240.
Faraday. Condensation der Gase IIb, 246.
— Gefrieren des Quecksilbers IIb, 252.
— Elektricitätserregung durch ausströmenden Dampf III, 119.
— Sitz der Elektricität III, 137.
— Specifisches Vertheilungsvermögen III, 178.

Faraday. Messung desselben III, 180.
— Verhalten der Nichtleiter gegen elektrische Influenz III, 182.
— Farbe des elektrischen Funkens III, 186.
— Zersetzung des Glaubersalzes durch Reibungselektricität III, 200.
— Voltameter III, 284.
— Elektrolyse III, 391.
— Zerlegung von Chlormetallen III, 398.
— Elektrolytisches Gesetz III, 409.
— Scheinbare Ausnahmen davon III, 412.
— Abstossung von Strömen III, 564.
— Rotation von Stromleitern III, 577.
— Inductionserscheinungen III, 621.
— Extrastrom III, 633.
— Funkenmagnet III, 673.
— Apparat für Rotationsmagnetismus III, 718.
— Erdinduction III, 723.
— Diamagnetismus III, 745.
— „ der Flammen III, 754, 756.
— Einfluss der Krystallisation auf Diamagnetismus III, 764.
— Drehung der Polarisationsebene durch Magnetismus III, 765.
— Schweres Glas III, 765.
Favre. Mechanisches Aequivalent der Wärme IIb, 430.
— Wärmeentwickelung im Smee'schen Element III, 437.
Favre und Silbermann. Quecksilbercalorimeter IIb, 314.
— Verdampfungswärme einiger Flüssigkeiten IIb, 370.
— Verbrennungswärme IIb, 379.
— Verbrennungswärmen allotroper Modificationen IIb, 381.
— Gesetz über die Verbrennungswärmen von Verbindungen IIb, 382.
— Verbrennungswärme metamerer und polymerer Körper IIb, 384.
— Wärmeentwickelung bei Bildung von Chlorverbindungen IIb, 390.
— Bestimmung der Wärmetönung bei chemischen Processen IIb, 392.
— Bestimmung von Absorptionswärmen IIb, 394.
— Verbrennungswärmen von Metallen IIb, 413.
— Apparat zur Erzeugung von Wärme durch Compression IIb, 425.
Fechner. Vergleichung der elektromotorischen Kräfte zweier Elemente III, 349.
— Säulenelektrometer III, 252.
Fechner. Gleichheit der Stromstärke in allen Theilen des Stromkreises III, 294.
Feddersen. Beschaffenheit des Entladungsfunkens einer Batterie III, 194.
Feilitsch. Vertheilung des Magnetismus im Querschnitt III, 493.
Fermat. Satz über die Brechung des Lichtes IIa, 428.
Ferrain. Schwingungen der Stimmbänder I, 567.
Fessel. Wellenmaschine IIa, 667.
Fick. Myographion III, 544.
Finkener. Theorie des Radiometers IIb, 590.
Fizeau. Geschwindigkeit des Lichtes IIa, 8.
— Aenderung der Brechungsquotienten mit der Temperatur IIa, 176.
— Interferenz des Lichtes IIa, 413.
— Interferenzerscheinungen an dicken Blättchen IIa, 479.
— Messung kleiner Aenderungen des Brechungsexponenten IIa, 481.
— Linearer Ausdehnungscoëfficient fester Körper IIb, 23, 24.
— Ausdehnung der Krystalle IIb, 35.
Fizeau und Foucault. Interferenz bei grossen Gangunterschieden IIa, 558.
— Photographische Wirksamkeit des elektrischen Kohlenlichtes III, 384.
— Condensator III, 649.
Forbes. Polarisation der Wärmestrahlen IIb, 584.
Forster. Brachyteleskop IIa, 382.
Forster (Lenoir und) Condensationsapparat IIb, 249.
Foucault. Geschwindigkeit des Lichtes in Luft IIa, 9.
— Spiegelteleskop IIa, 382.
— Geschwindigkeit des Lichtes in Wasser IIa, 423.
— Prisma IIa, 527.
Foucault (Fizeau und) Interferenz bei grossen Gangunterschieden IIa, 558.
— Photographische Wirksamkeit des elektrischen Kohlenlichtes III, 384.
— Kohle für das elektrische Licht III, 384.
— Kohlenlichtregulator III, 385.
— Interruptor III, 648.
— Inductionsströme III, 716.
Frank. Drehung der Polarisationsebene durch Flüssigkeiten IIa, 637.
Frankenheim. Formel für das Volum des Wassers IIb, 84.

Frankenheim. Temperaturänderung durch Thermoströme III, 610.
Frankland. Absorption des Natriumdampfes IIa, 246.
— Trockene Nebel IIb, 637.
Franklin. Hypothese nur eines elektrischen Fluidums III, 89.
— Elektroskop III, 95.
— Elektrischer Ansammlungsapparat III, 145.
— Atmosphärische Elektricität III, 210.
— Blitzableiter III, 213.
Franz. Absorption der Wärmestrahlen in Luft IIb, 567.
— Wärmespectrum IIb, 560.
Franz (Wiedemann und) Elektrisches und calorisches Leitungsvermögen III, 311.
— Wärmeleitung fester Körper IIb, 533, 536.
Fraunhofer. Linien im Sonnenspectrum IIa, 149.
— Brechungsquotienten IIa, 151, 167.
— Spectralanalyse IIa, 204.
— Loupe IIa, 350.
— Mikroskop IIa, 356.
— Prüfung der Schärfe eines Fernrohrs IIa, 378.
— Beugung des Lichtes IIa, 433.
— Beugungsgitter IIa, 456.
— Messung der Wellenlänge des Lichtes IIa, 459.
Fresnel. Undulationstheorie IIa, 395.
— Spiegelversuch IIa, 397.
— Cylinderlinse zur Interferenz IIa, 400.
— Interferenzprisma IIa, 413.
— Beugung des Lichtes IIa, 432.
— Interferenzerscheinungen an dünnen Blättchen IIa, 465.
— Schwingungsebene des polarisirten Strahles IIa, 495.
— Wellenoberfläche in zweiaxigen Krystallen IIa, 529.
— Doppelbrechung in gepressten Gläsern IIa, 540.
— Elliptische Polarisation durch totale Reflexion IIa, 619.
— Glasparallelepiped IIa, 621.
— Elliptische Polarisation IIa, 623.
— Hypothese über die Natur des unpolarisirten Lichtes IIa, 625.
— Erklärung der Farbenerscheinungen in senkrecht zur Axe geschnittenen Quarzplatten IIa, 630.
— Doppelbrechung des Bergkrystalls IIa, 633.
Fresnel und Arago. Interferenz polarisirter Lichtstrahlen IIa, 542.
Frick. Stereoskop IIa, 325.
— Apparat zur Messung der Spannkraft eines Gemenges von Luft und Dampf IIb, 203.
— Magnetisirung von Stahlstäben III, 480.
Fritsch. Brachyteleskop. IIa, 382.
Froment. Elektromagnetischer Motor III, 503, 508.

G.

Gadolin. Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
Galiläi. Gesetz der Trägheit I, 9.
— Schwere der Luft I, 172.
— Bewegungsgesetze I, 268.
— Fallrinne I, 272.
— Gesetze der Pendelschwingungen I, 303.
— Fernrohr IIa, 368.
Galvani. Endeckung des Galvanismus III, 225.
— Wirkung des elektrischen Rückschlages III, 110.
Gambey. Heliostat IIa, 39.
Garthe. Apparat für gekreuzte Ströme III, 562.
Gassiot. Galvanischer Funke III, 380.
— Spectralapparat IIa, 209.
— Elektrische Röhren III, 659.
Gaugain. Tangentenbussole III, 458.
Gauss. Absolutes Maasssystem I, 564.
— Spiegelablesung IIa, 43.
— Hauptpunkte bei Linsen IIa, 127.
— Ocular IIa, 155.
— Magnetometer III, 36.
— Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus III, 47, 68.
— Gesetz der Totalwirkung von zwei Magneten auf einander III, 59.
— Bifilarmagnetometer III, 76.
Gauss und Weber. Telegraph III, 529.
Gay-Lussac. Barometer I, 192.
— Cohäsion der Flüssigkeiten I, 145.
— Steighöhe in Haarröhrchen I, 151.
— Volumeter I, 128.
— Geschwindigkeit des Schalles I, 418.
— Fortpflanzung des Schalles I, 410.
— Ausdehnung der Gase bei constantem Druck IIb, 92.
— Gesetz von Gay-Lussac IIb, 103.
— Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 178.

Gay-Lussac. Dampfdichtebestimmung IIb, 229.
Geissler, Dr. Luftpumpe I, 229.
— Röhren von Geissler IIa, 227, III, 189, 659.
— Fluorescirende Glasröhren IIa, 279.
— Leuchtsteine IIa, 282.
— Maximumthermometer IIb, 76.
— Apparat zu de la Rive's rotirendem Flammenbogen III, 668.
Geissler (Plücker und) Wasserthermometer IIb, 77.
— Specifisches Gewicht des Eises IIb, 90.
— Ausdehnung des Wassers IIb, 84.
Gerland. Wirkungen des Lichtes auf Pflanzen IIa, 297.
Gernez. Specifisches Drehungsvermögen IIa, 657.
Gilbert. Einfluss der Wärme auf Magnetismus III, 27.
Gilpin (Blagden und) Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
Gintl. Elektrische Entladung in verdünnten Gasen III, 666.
Gladstone. Brechungsquotienten IIa, 170.
Glatzel. Lineare Ausdehnungscoëfficienten fester Körper IIb, 26.
Goldstein. Elektrische Entladung in verdünnten Gasen III, 666.
Goppelsröder. Fluorescenzanalyse IIa, 269.
Grabowski. Dampfdichtebestimmung IIb, 230.
v. Graham. Absorption der Gase I, 253.
— Diffusion der Gase I, 263.
— Durchgang der Gase durch Kautschuk I, 365.
— Diffusion der Flüssigkeiten I, 169.
— Variationen der magnetischen Inclination III, 46.
Grailich. Chromatische Polarisation IIa, 590.
Gramme. Ringmaschine III, 503, 519, 687, 692.
Grassi. Compression der Flüssigkeiten I, 140.
Grassmann. Luftpumpenhahn I, 224.
Gravesande. Ausdehnung fester Körper I, 21.
— Elasticitätscoëfficienten I, 83.
— Heliostat. IIa, 39.
Gray. Leitung der Elektricität III, 84.
Gregory. Spiegelteleskop IIa, 379.
Greiner. Barometer I, 192.
Greiss. Elektricität des Siegellacks III, 89.
Grenet. Galvanische Kette III, 273.
Grotian. Elektrolytischer Widerstand III, 427.
Grotthuss. Theorie der Elektrolyse III, 424.
Grove. Galvanische Kette III, 266.
— Gasbatterie III, 364.
Grubeaud. Eiserzeugungsmaschine IIb, 168.
Grüel. Cylindermaschine III, 105.
— Elektromagnetischer Motor III, 503.
v. Guericke. Luftpumpe I, 213.
— Magdeburger Halbkugeln I, 227.
— Elektrischer Funke III, 90.
Guthrie. Kryohydrate IIb, 157.

H.

Hadley. Spiegelsextant IIa, 33.
Häcker. Tragkraft der Hufeisenmagnete III, 17.
— Sättigungspunkt der Magnete III, 26.
Hagen. Ausdehnung des Wassers IIb, 81.
Hagenbach. Wasserluftpumpe I, 367.
— Fluorescenz IIa, 272.
— Phosphorescenz IIa, 280.
— Doppelbrechung in spröden Gläsern IIa, 542.
— Messungen an dynamo-elektrischen Maschinen III, 706.
Haidinger. Absorption des Lichtes in doppelt brechenden Krystallen IIa, 658.
— Polarisationsbüschel IIa, 666.
— Dichroskopische Loupe IIa, 522.
Halske. Modification des Bunsen'schen Bechers III, 267.
Hällström. Kalibrirung des Thermometers IIb, 57.
Hallström. Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
— Ausdehnung des Wassers IIb, 81.
Hamilton. Conische Refraction IIa, 537.
Hämmerle. Siedepunkte der Schwefelsäurehydrate IIb, 402.
Hammerl. Kältemischung aus Chlorcalcium und Schnee IIb, 167.
Handmann. Elektromagnetischer Motor III, 510, 526.
Hankel. Magnetische Wirkung einer Stromspirale III, 496.
— Thermo-elektrische Spannungsreihe III, 591.
Hann. Erklärung der Eigenschaften des Föhn IIb, 624.
Hare. Calorimotor III, 261.
Harless. Myographion III, 544.

Harris. Schlagweite der Leydener Flasche III, 158.
— Luftthermometer für elektrische Entladung III, 167.
Harrison. Eisapparat IIb, 225.
Harting. Quadrioculares Mikroskop IIa, 368.
— Achromatisches Objectiv IIa, 356.
Hartmann. Inclination III, 33.
Hassert. Prisma IIa, 527.
Haüy. Astasirender Magnet III, 463, 469.
Hawkins. Galvanische Kette III, 273.
Hedelius und Peterson. Specifische Wärme des Quecksilbers IIb, 321.
v. Hefner-Alteneck. Trommelmaschine III, 697.
Heintz. Electricität des Glases III, 88.
Hell. Achromatische Linsen IIa, 195.
Helmholtz. Summationstöne I, 545.
— Differenztöne I, 544.
— Phonautograph I, 517.
— Wahrnehmung von Obertönen I, 549.
— Klangfarbe I, 547, 565.
— Resonator I, 550.
— Vibrationsmikroskop I, 558.
— Unabhängigkeit der Klangempfindung von der Phasendifferenz der componirenden Wellen I, 557.
— Schwingungsform gestrichener Saiten I, 557.
— Stimmgabel — Vocalapparat I, 571.
— Complementäre Farben IIa, 146.
— Irradiation IIa, 328.
— Farbentheorie IIa, 339.
— Kleinste mikroskopische Distanz IIa, 365.
— Haidinger's Büschel IIa, 666.
— Erklärung der Eigenschaften des Sirocco IIb, 623.
— Elektrolytische Convection III, 413.
— Satz über die durch den Strom erzeugte Wärmemenge III, 432.
— Tangentenbussole III, 458.
— Elektromagnetischer Motor III, 503, 506.
— Miographion III, 544.
— Theorie der Elektrodynamik III, 738.
Henley. Allgemeiner Auslader III, 162.
— Quadrantenelektrometer III, 106.
Henning. Quantitative Spectralanalyse IIa, 257.
Henrici. Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
Henry. Absorption der Gase I, 257.
— Inductionsströme höherer Ordnung III, 732.
Hering. Farbentheorie IIa, 341.
Hermann, L. Theorie der Thermoelektricität III, 618.
Hermann und Studer. Spectroskop IIa, 213.
Hermann und Pfister. Metallthermometer IIb, 32.
Heron. Satz über die Reflexion IIa, 427.
Herschel J. Spectralanalyse IIa, 204.
— Spiegelteleskop IIa, 381.
— Beugung des Lichts IIa, 432.
— Farbenringe in zweiaxigen Krystallen IIa, 581, 588.
Herschel A. Prisma IIa, 193.
Herwig. Spannkraft der Dämpfe im gaserfüllten Raume IIb, 203.
— Specifisches Gewicht der gesättigten Dämpfe IIb, 242, 244.
Hess. Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
— Satz über die Verbrennungswärme von Verbindungen IIb, 382.
d'Heureuse. Elektromagnetischer Motor III, 503.
Hipp. Chronoskop III, 543.
— Elektrisches Pendel III, 547.
Hirn. Mechanisches Aequivalent der Wärme IIb, 430, 432.
— Verhalten des gesättigten Wasserdampfes bei Expansion IIb, 486.
— Ausdehnung des Wassers bei Temperaturen über 100° C. IIb, 84.
— Ausdehnung des Alkohols IIb, 87.
— Verhältniss der Wärmecapacitäten der Luft IIb, 352.
— Calorifer IIb, 311.
— Erkaltungsmethode zur Bestimmung der specifischen Wärme IIb, 317.
— Specifische Wärme des Wassers IIb, 320.
— Specifische Wärme einiger Flüssigkeiten IIb, 321.
Hittorf. Emissionsspectra IIa, 238.
— Elektrolyse gelöster Salze III, 404.
— Zersetzungsapparat III, 406.
— Wanderung der Ionen III, 415.
— Elektrische Entladungen in verdünnten Gasen III, 661.
Hock. Heissluftmaschine IIb, 471.
— Brechungsexponenten IIa, 170, 177.
Hochgesang. Luftpumpe I, 227.
Hoffer. Erzeugung von Hufeisenmagneten III, 12.

Hofmann, R. Spectroskop IIa, 211.
— Taschenspectroskop IIa, 212.
Hofmann, A. W. Dampfdichtebestimmung IIb, 230.
— Zersetzungsapparat III, 393.
— Apparat zur Demonstration des Gesetzes von Faraday III, 409.
Holtz. Influenzmaschine III, 110.
— Durchbohren von Glas durch den elektrischen Funken III, 163.
— Elektromagnetisches Verhalten des Magneteisensteins III, 487.
Holtzmann. Correction des Thermometers wegen des vorstehenden Fadens IIb, 65.
Hook. Radbarometer I, 195.
Hooke. Spiegelsextant IIa, 33.
Hope. Dichtemaximum des Wassers IIb, 79.
Hopkins. Erhöhung des Schmelzpunktes einiger Substanzen durch Druck IIb, 153.
Horner. Barometer I, 190.
Horsford. Leitungswiderstand der Flüssigkeiten III, 341.
Howard. Arten der Wolken IIb, 638.
Huggins. Spectrum der Fixsterne IIa, 253.
— Spectrum der Kometen IIa, 254.
— Verschiebung der Spectrallinien durch Bewegung des Lichtes IIa, 255.
Hughes. Drucktelegraph III, 536.
— Mikrophon III, 714.
Hugi. Unterkühlung IIb, 137.
Humboldt. Isothermische Linien der Erde IIb, 603.
— Regenzeit in Südamerika IIb, 642.
— Intensität des Erdmagnetismus III, 47.
Huyghens. Barometer I, 194.
— Pendeluhr I, 334.
— Ocular IIa, 357.
— Undulationstheorie IIa, 395.
— Princip der Fortpflanzung der Wellen IIa, 416.
— Doppelbrechung IIa, 501.

J.

Jablochkoff. Elektrische Kerze III, 389.
Jacobi. Einheit der Stromstärke III, 285.
— Einheit des Leitungswiderstandes III, 315.
— Galvanischer Funke III, 380.
— Galvanoplastik III, 419.
— Elektromagnetischer Motor III, 503.
Jacobi. Theorie der elektromagnetischen Motoren III, 521.
Jacquin. Prüfung des Mikroskopes IIa, 362.
Jamin. Brechungsquotienten IIa, 170.
— Interferentialrefractor IIa, 481.
— Elliptische Polarisation IIa, 623.
— Specifische Wärme von Flüssigkeiten IIb, 311, 313.
— Magnetisches Magazin III, 16.
Jamin (Masson und) Identität von Licht- und Wärmestrahlen IIb, 565.
— Verhalten durchsichtiger Körper gegen dunkle Wärmestrahlen IIb, 566.
Jannetaz. Wärmeleitung in Krystallen IIb, 538.
Janssen. Absorptionsspectra IIa, 242.
Jedlička. Elektromagnetischer Motor III, 503.
Jellet (Cornu und) Halbschattensaccharimeter IIa, 651.
Jngenhouss. Wärmeleitung IIb, 525.
Jolly. Federwage I, 87.
— Endosmose I, 165.
— Quecksilberluftpumpe I, 230.
— Circularpolarisation in Flüssigkeiten IIa, 639.
— Cubischer Ausdehnungscoëfficient des Glases IIb, 47.
— Ausdehnung des Wassers IIb, 81.
— Spannungscoëfficient der Luft IIb, 102.
— Luftthermometer IIb, 115.
— Zusammensetzung der Luft IIb, 614.
Jones. Sympathische Uhr III, 552.
Joule. Dichtemaximum des Wassers IIb, 80.
— Mechanisches Aequivalent der Wärme IIb, 428, 438, 439.
— Kinetische Gastheorie IIb, 501.
— Messung der Lufttemperatur IIb, 601.
— Gesetz der Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom III, 370.
— Stromstärke und Magnetismus III, 481.
— Verlängerung durch Magnetisirung III, 502.

K.

Kämtz. Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 178.
— Höhe der Federwolken IIb, 639.
Kater. Reversionspendel I, 332.
Kellner. Ocular IIa, 372.

Kessler. Prisma IIa, 193.
— Imitation natürlicher Magnete III, 15.
Ketteler. Brechungsexponenten der Gase IIa, 98, 169.
Kinnersley. Thermometer III, 167.
Kirchhoff. Linien im Sonnenspectrum IIa, 150.
— Spectralapparat IIa, 208.
— Gesetz der Constanz des Verhältnisses des Emissions- und Absorptionsvermögens IIa, 243.
— Umkehrung des Spectrums IIa, 244.
— Untersuchung des Sonnenspectrums IIa, 250.
— Berechnung der bei Absorption von Gasen, beim Auflösen von Salzen, bei der Mischung oder Verdünnung von Lösungen entwickelten Wärmemengen IIb, 500.
— Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität III, 194.
— Stromverzweigung III, 332.
Kirchhoff und Bunsen. Allgemeines über Emmissionsspectra IIa, 240.
Kleist. Leydener Flasche III, 149.
Knoblauch. Pendelapparat zur Darstellung der Figuren von Lissajous I, 510.
— Durchgang der Wärmestrahlen durch feste Körper IIb, 554, 556.
— Diffusion der Wärmestrahlen IIb, 578.
— Interferenz der Wärmestrahlen IIb, 584.
Kobell. Galvanographie III, 421.
Koch. Ausströmen der Gase I, 381.
Kohlrausch. Lineare Ausdehnung des Hartgummi IIb, 26.
— Compensationsstreifen IIb, 32.
— Elektrometer III, 130.
— Sinuselektrometer III, 133.
— Condensator III, 153.
— Spannung an dem einen Pole einer einseitig abgeleiteten Kette III, 325.
— Leitungsvermögen von Flüssigkeiten III, 341, 343, 346.
— Leitungsvermögen des Wassers III, 394.
— Elektrolytischer Widerstand III, 427.
— Theorie der Thermoelektricität III, 618.
König. Geschwindigkeit des Schalles I, 419.
— Monometrische Flammen I, 450.
— Gränzen der Hörbarkeit I, 470.
— Figuren von Lissajous I, 507.
— Phonautograph I, 515, 553.
König. Apparat zur Untersuchung der Vocalklänge, I, 572.
Kopp. Volumenometer I, 205.
— Cubische Ausdehnungscoëfficienten IIb, 28.
— Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
— Formel für das Volumen des Wassers bei verschiedenen Temperaturen IIb, 84.
— Ausdehnung von Flüssigkeiten IIb, 86.
— Aenderung des Volums fester Körper beim Schmelzen IIb, 88.
— Bestimmung der specifischen Wärme IIb, 295.
— Specifische Wärme zusammengesetzter Körper IIb, 330.
— Gesetz von Kopp IIb, 332.
Körting. Apparate beruhend auf dem Saugphänomen der Gase I, 389.
Kravogl. Quecksilber-Luftpumpe I, 234.
— Elektromagnete III, 498.
— Elektromagnetischer Motor III, 503, 516.
— derselbe als dynamo-elektrische Maschine III, 692.
Krönig. Kinetische Gastheorie IIb, 501.
Kühne. Sehpurpur IIa, 301.
Kundt. Schwingungsknoten in Luftsäulen I, 451.
— Dichtigkeitsänderungen in den Knotenpunkten I, 453.
— Interferenzapparat I, 537.
— Anomale Dispersion IIa, 199.
— Spectrum der Luft IIa, 239.
— Polarisationsvibroskop IIa, 541.
Kupfer. Einfluss der Wärme auf Magnetismus III, 27.
Kurz. Trägheitsmoment I, 321.

L.

Lagrange. Saitenschwingungen I, 473.
Lamont. Barometer I, 188.
— Magnetischer Reisetheodolit III, 41.
— Bestimmung der Inclination III, 50.
— Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus III, 73.
— Berusste Trommel III, 541.
Lamy. Brechungsquotienten IIa, 169.
Landolt. Abhängigkeit des Brechungsvermögens von der Dichte IIa, 170.
— Brechungsquotient von Gemischen IIa, 177, 178.

Landolt. Specifisches Drehungsvermögen IIa, 656.
— Spannkraft der Dämpfe IIb, 201.
Lane. Maassflasche III, 157.
— Schlagweite der Leydener Flasche III, 158.
v. Lang. Brechungsquotient der Luft IIa, 96.
— Spectrometer IIa, 156.
— Axenwinkelapparat IIa, 584.
— Chromatische Polarisation in Brookit IIa, 590.
— Circularpolarisation IIa, 636.
— Quadrantenelektrometer III, 133.
Langen und Otto. Gaskraftmaschine IIb, 475.
Langberg. Wärmeleitung fester Körper IIb, 533.
Laplace. Specifische Wärme der Gase bei constantem Volumen IIb, 350.
— Verhältniss der Wärmecapacitäten der Gase IIb, 353.
Laplace (Lavoisier und) Eiscalorimeter IIb, 278.
— Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
— Messung des linearen Ausdehnungscoëfficienten IIb, 15.
Lauberau. Heissluftmaschine IIb, 471.
Laurent. Halbschattensaccharimeter IIa, 649.
Lavoisier. Quellen der thierischen Wärme IIb, 389.
Lavoisier und Laplace. Messung des linearen Ausdehnungscoëfficienten IIb, 15.
— Eiscalorimeter IIb, 278.
— Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
Lecher. Specifische Wärme der Mischungen von Amylalkohol und Wasser IIb, 334.
Leclanché. Galvanische Kette III, 275.
Lefevre-Gineau. Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
Legrand. Siedepunkte gesättigter Salzlösungen IIb, 212.
— Abhängigkeit des Siedepunktes von der Salzmenge IIb, 213.
Lehfeld. Spannung der Stimmbänder I, 569.
Lehrmann. Heissluftmaschine IIb, 471.
Leidenfrost'sches Phänomen IIb, 208.
Lenoir. Gaskraftmaschine IIb, 475.
Lenoir und Forster. Condensationsapparat IIb, 249.
Lenz. Specifische Leitungswiderstände von Metallen III, 310.
— Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur III, 314.
Lenz. Gesetz der Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom III, 370.
— Erkaltung durch Thermoströme III, 609.
— Gesetz über die Richtung der Inductionsströme III, 624, 636.
Lenz und Jacobi. Einfluss der Stromstärke auf Magnetismus III, 480.
— Anziehung der Elektromagnete III, 489.
— Tragkraft derselben III, 490.
Le Roux. Brechungsquotienten IIa, 169.
— Thermoströme in einem Metalle III, 599.
— Temperaturänderung durch Thermoströme III, 613.
Leslie. Wärmestrahlungsvermögen verschiedener Oberflächen IIb, 549.
— Differential-Luftthermometer IIb, 122.
Leyser. Magnetometer III, 39.
Lichtenberg Staubfiguren III, 198.
Liebig. Endosmose I, 167.
— Kühler IIb, 222.
— Thierische Wärme IIb, 390.
— Herstellung von Spiegeln IIa, 28.
Linari. Zitterrochen III, 785.
Lipowitz. Legirung IIb, 147.
Lippich. Universalkaleidoskop IIa, 498.
— Natur des unpolarisirten Lichtes IIa, 627.
Lissajous. Schwingungsfiguren I, 501.
List. Irrlicht IIb, 651.
Listing. Knotenpunkte der Linsen IIa, 118.
— Reducirtes Auge IIa, 303.
— Knotenpunkte des Auges IIa, 303.
— Farbenscala IIa, 338.
Littrow. Automatisches Spectroskop IIa, 210.
Lloyd. Bestimmung der Inclination III, 50.
— Conische Refraction IIa, 537.
Locke. Galvanisch registrirende Uhren III, 538.
Lockyer. Emissionsspectra IIa, 241.
— Verschiebung der Spectrallinien IIa, 256.
Lommel. Fluorescenz IIa, 272.
— Chemische Wirkungen des Lichtes auf Pflanzen IIa, 296.
— Theorie der Doppelbrechung IIa, 520.

Lommel. Polarisationsebene IIa, 653.
Losschmidt. Diffusion IIb, 517.
Lubarsch. Fluorescenz IIa, 272.
Ludwig. Endosmose I, 166.
Lüdtge. Universaltelephon III, 714.
Lullin. Durchschlagen des elektrischen Funkens durch ein Kartenblatt III, 163.
Lundquist. Wärmeleitungsvermögen des Wassers IIb, 540.

M.

Mach. Dichtigkeitsänderungen der Luft in Pfeifen I, 454.
— Apparat zur Demonstration der Brechung des Lichtes IIa, 63.
— Apparat zur Demonstration der Linsenwirkung IIa, 127.
— Stroboskopische Beobachtung schwingender Saiten I, 487.
— Apparat zur mechanischen Darstellung des Brechungsgesetzes IIa, 430.
— Polarisation in halbweichen Körpern durch Druck IIa, 541.
— Prismatische Zerlegung der Polarisationsfarben IIa, 556.
— Bestimmung des Gangunterschiedes der Lichtcomponenten in tönenden Stäben IIa, 562.
— Polarisationsapparat mit rotirendem Analyseur IIa, 572.
— Tabelle der Polarisationsarten des Lichtes IIa, 620.
— Natur des unpolarisirten Lichtes IIa, 627.
— Wellenapparat IIa, 669.
Magnus. Maximumthermometer IIb, 74.
— Spannungscoëfficient der Luft IIb, 102.
— Luftthermometer IIb, 112.
— Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 181.
— Formel für die Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 191.
— Temperatur des aus Salzlösungen sich bildenden Dampfes IIb, 214.
— Compressionsapparat IIb, 254.
— Wärmeleitungsvermögen der Gase IIb, 540.
— Wärmeabsorption durch Wasserdampf IIb, 572.
— Galvanisches Leitungsvermögen des Wassers IIb, 394.
— Thermoströme in einem Metall III, 599, 600.
— Erklärung der Wirkung von Drahtbündeln in Inductionsrollen III, 638.
Malus. Polarisation IIa, 482.
— Gesetz über die Intensität der durch Doppelbrechung polarisirten Lichtstrahlen IIa, 515.
— Metallreflexion IIa, 622.
— Doppelbrechung im Kalkspath IIa, 653.
Marcus. Thermosäule III, 602.
Marignac. Specifische Wärme von Lösungen und Mischungen IIb, 338.
Mariotte. Ausflussgefäss I, 356.
— Gesetz von Mariotte I, 199.
Marloye. Stimmgabel I, 499.
Marrian. Töne beim Magnetisiren des Eisens III, 499.
Martin. Reflexionskreis IIa, 36.
v. Marum. Versuche mit der Elektrisirmaschine III, 187.
Mascart. Brechung in Gasen IIa, 96.
— Wellenlänge ultravioletter Strahlen IIa, 461.
— Brechungsexponent und Compressionscoëfficient IIa, 176.
Masson. Verhältniss der Wärmecapacitäten von Gasen IIb, 352, 354.
Masson und Jamin. Identität von Licht- und Wärmestrahlen IIb, 565.
— Verhalten durchsichtiger Körper gegen dunkle Wärmestrahlen IIb, 566.
— Inductionsströme durch Reibungselektricität III, 629.
Matern. Hygrometer IIb, 633.
Mathieu. Geschwindigkeit des Schalles I, 418.
— Länge des Secundenpendels I, 327.
Matteucci. Froschstrom III, 780.
— Zitterrochen III, 785.
Matthiessen. Lineare Ausdehnungscoëfficienten fester Körper IIb, 25.
— Specifische Leitungswiderstände von Metallen III, 310.
— Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur III, 314.
— Thermoelemente II, 593.
Mauthner. Vergrösserung bei optischen Instrumenten IIa, 349.
Maxwell. Theorie der Farbenempfindungen IIa, 339.
— Einheit der Wärmemenge IIb, 272.
— Wärmecapacität und specifische Wärme IIb, 273.

Maxwell. Kreissprocess IIb, 450.
— Entropie IIb, 470.
— Mittlere Geschwindigkeit der Gasmolecüle IIb, 515.
— Diffusion IIb, 517.
— Reibungscoëfficient von Luft IIb, 519.
Mayer v. Dampfdichtebestimmung IIb, 232.
Mayer T. Bestimmung der specifischen Wärme nach der Erkaltungsmethode IIb, 316.
Mayer R. Erwärmung des Wassers durch Schütteln IIb, 422.
— Aequivalenz von Wärme und Arbeit IIb, 428.
— Mechanisches Aequivalent der Wärme IIb, 440.
Mazeline. Heissluftmaschine IIb, 471.
Meidinger. Galvanisches Element III, 265.
Meissner und Meyerstein. Spiegelgalvanometer III, 469.
Melde. Apparat zur Darstellung von Saitenschwingungen I, 483.
— Universalkaleidoskop I, 498.
Melloni. Thermomultiplicator IIb, 545.
— Graduirung desselben IIb, 547.
— Wärmestrahlungsvermögen IIb, 549.
— Abhängigkeit des Wärmestrahlungsvermögens von der Dichte IIb, 549.
— Athermane und diathermane Körper IIb, 552.
— Brechung der Wärmestrahlen IIb, 558.
— Thermisches Maximum des Spectrums IIb, 560.
— Thermochrose IIb, 565.
— Diathermansie des Steinsalzes IIb, 567.
— Absorption der Wärmestrahlen in Luft IIb, 567.
— Wärmeabsorptionsvermögen für Strahlen verschiedener Wärmequellen IIb, 574, 575.
— Diffusionsvermögen der Wärme für Strahlen verschiedener Wärmequellen IIb, 577.
— Polarisation der Wärmestrahlen IIb, 583.
Mendelejeff. Absoluter Siedepunkt IIb, 262.
Mersenne. Tonhöhe I, 416.
— Schwingungen der Saiten I, 473.
— Geschwindigkeit des Schalles I, 417.
Merz. Spectralapparat IIa, 209, 211.
Meyerstein. Heliostat IIa, 37.
Meyerstein. Hohlprisma IIa, 50.
— Bestimmung von Brechungsquotienten IIa, 88.
— Spectrometer IIa, 153.
Miller. Absorptionsspectra IIa, 242.
Minetto. Galvanisches Element III, 265.
Mitscherlich. Emissionsspectra IIa, 241.
— Ausdehnung der Krystalle IIb, 34.
— Verbrennungspunkt IIb, 385.
— Saccharimeter IIa, 644.
Mittelstrass. Blitzableiter III, 215.
— Apparat zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Blitzableitern III, 220.
Mohr. Theorie des Hagels IIb, 645.
— Voltameter III, 285.
Moll. Geschwindigkeit des Schalles I, 419.
Montgolfier. Luftballon I, 247.
Morin. Reibungscoefficienten I, 343.
Morren. Absorptionsspectra IIa, 242.
Morse. Telegraphie III, 529.
— Schreibapparat III, 530.
Mos. Pendelapparat zur Darstellung der Figuren von Lissajous I, 510.
Moser. Hauchbilder I, 255.
— Emissionsspectra IIa, 241.
Mousson. Spectroskop IIa, 205.
— Verflüssigung des Eises durch Druck IIb, 150.
Mouton. Wärmevertheilung im Sonnenspectrum IIb, 563.
Müller J. Bildung der Kehlkopftöne I, 568.
— Membranöse Zungenpfeifen I, 530.
— Reflexionsapparat IIa, 25.
— Apparat zur Brechung des Lichtes IIa, 61.
— Darstellung der Absorptionsspectra IIa, 231.
— Fluorescenzspectrum des elektrischen Lichtes IIa, 277.
Chemische Wirkungen des Lichtes IIa, 294.
— Prismatische Zerlegung der Polarisationsfarben IIa, 554.
— Vertheilung der Wärme im Spectrum IIb, 560.
— Messung der linearen Ausdehnung fester Körper IIb, 16.
— Theorie des Hagels IIb, 645.
— Verhalten der Nichtleiter gegen Influenz III, 182.
— Specifische Leitungswiderstände von Metallen III, 310.
— Leitungswiderstand von weissglühendem Eisendraht III, 315.

Müller, J. Gesetze über das Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom III, 378.
— Stromstärke und Magnetismus III, 481, 482.
— Tragkraft der Elektromagnete III, 490.
— Apparat zu Bertin's Versuchen mit Faraday's Glas III, 770.
Müller in Wesel. Specifischer Leitungswiderstand des rothglühenden Eisendrahtes III, 315.
Müller, M. Zusammengesetzte Augen IIa, 299.
Münchhausen. Specifische Wärme des Wassers IIb, 319.
Münchow. Zusammensetzung des Lichtes IIa, 143.
Muschenbroek. Absolute Festigkeit I, 91.
— Elektrische Fische III, 784.
Müttrich. Abhängigkeit des Brechungsquotienten von Temperatur und Dichte IIa, 170.

N.

Nachet. Binoculares Mikroskop IIa, 366, 367.
— Trioculares Mikroskop IIa, 367.
Natanson. Dampfdichtebestimmung IIb, 230.
Natterer. Condensationsapparat IIb, 247.
Neumann. Schwingungsebene des polarisirten Lichtstrahles IIa, 495.
— Dampferhitzungsapparat IIb, 290.
— Specifische Wärme zusammengesetzter Körper IIb, 330.
Newton. Definition des Schalles I, 401.
— Geschwindigkeit des Schalles I, 420.
— Absolutes Maasssystem I, 584.
— Spiegelsextant IIa, 33.
— Sonnenspectrum IIa, 138.
— Zusammensetzung des zerstreuten Lichtes IIa, 142.
— Farbenscala IIa, 338.
— Spiegelteleskop IIa, 380.
— Emanationstheorie IIa, 395.
— Farbenglas IIa, 470.
— Grundsätze über das Erkalten IIb, 585, 587.
Nicholson. Aräometer I, 126.
— Entdeckung der Wasserzersetzung durch den Strom III, 391.
Nicol. Prisma IIa, 526.
Niepce. Photographie IIa, 291.
Nobert. Camera lucida IIa, 346.
— Interferenzspectrumplatte IIa, 462.
Nobili. Galvanische Erzeugung von Farbenringen III, 422.
— Multiplicator III, 452.
— Thermosäule III, 601.
— Thermoströme zwischen Flüssigkeiten III, 614.
— Froschstrom III, 779.
Noë. Thermosäulen III, 604.
Nöllner. Theorie des Hagels IIb, 645.
Nollet. Magneto-elektrische Maschine III, 679.
Nordmann. Inclination III, 33.
Nörrenberg. Interferenzröhre I, 535.
— Subjective Farben IIa, 335.
— Polarisationsapparat IIa, 485.
— Turmalinzange IIa, 493.
— Schwingungsebene der polarisirten Lichtstrahlen IIa, 495.
— Polarisationsmikroskop IIa, 566.
— Mikroskopischer Polarisationsapparat IIa, 569.

O.

Oberbeck. Ringförmiger Elektromagnet III, 485.
Oberhäuser. Mikroskopisches Objectiv IIa, 357.
— Dissectionsmikroskop IIa, 360.
Oechsle. Mostwage I, 134.
Oerstedt. Compressibilität der Flüssigkeiten I, 139.
— Mariotte'sches Gesetz I, 209.
— Elektrometer III, 133.
— Einwirkung des galvanischen Stromes auf eine Magnetnadel III, 448.
v. Oettingen. Einfluss des äusseren Luftdruckes auf das Thermometer IIb, 64.
Ohm. Zerlegung periodischer Schwingungen im Ohr I, 548.
— Interferenzprisma IIa, 413.
— Gesetz über die Stromstärke III, 295.
— Specifische Leitungswiderstände von Metallen III, 310.
Otto (Langen und) Gaskraftmaschine IIb, 475.
Oudemanns. Brechungsquotienten IIa, 177.

P.

Paalzoow. Spectrum des Sauerstoffs IIa, 239.
— Alternirende Entladung in Geissler'schen Röhren III, 670.

Pacinotti. Elektromagnetischer Motor III, 503, 519.
— Magneto - elektrische Ringmaschine III, 685.
Page. Specifische Wärme von Gemischen aus Alkohol und Wasser IIb, 334.
— Töne beim Magnetisiren des Eisens III, 499.
— Elektromagnetischer Motor III, 503, 515.
Pampour. Verhalten des gesättigten Wasserdampfes bei Expansion IIb, 485.
Papin. Digestor IIb, 187.
Parry. Magnetische Inclination III, 33.
Pascal. Bodendruck I, 114.
Pasteur. Circularpolarisation der Traubensäure IIa, 654.
Pätz van Troastwyck. Wasserzersetzung durch Reibungselektricität III, 199.
Peltier. Elektrometer III, 133.
— Thermo-elektrisches Kreuz III, 607.
Pepy. Gasometer I, 375.
Pernet. Depression des Eispunktes IIb, 62.
Person. Schmelzwärme und specifische Wärme IIb, 358.
— Schmelzwärme von Metallen IIb, 359.
— Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
Petit (Dulong und) Messung der linearen Ausdehnung fester Körper IIb, 19.
— Absolute Ausdehnung des Quecksilbers IIb, 40.
— Erkaltungsmethode zur Bestimmung der specifischen Wärme IIb, 316.
— Specifische Wärme des Quecksilbers IIb, 321.
— Specifische Wärme von Metallen IIb, 323.
— Gesetz über specifische Wärme und Atomgewicht IIb, 327.
— Wärmeleitungsvermögen der Gase IIb, 540.
Petrie. Berechnung des Wirkungsgrades elektromagnetischer Motoren III, 524.
Petterson und Hedelius. Specifische Wärme des Quecksilbers IIb, 321, des Eisens IIb, 323.
— Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
Pfaundler. Apparate zur Darstellung der Figuren von Lissajous I, 507, 508.
— Apparat zur Demonstration der Abweichung rotirender Geschosse I, 595.
Pfaundler. Uebereinandergreifende Dissociation in Gemischen von Säuren mit Wasser IIa, 177.
— Apparat zur Demonstration der Brechung in Prismen IIa, 85.
— Luftthermometer IIb, 113, 118.
— Differentialluftthermometer IIb, 123.
— Doppelgefässluftthermometer IIb, 124.
— Dampferhitzungsapparat IIb, 292.
— Modification des Kopp'schen Verfahrens zur Bestimmung der specifischen Wärme IIb, 296.
— Régnault's Correctionsmethode bei calorimetrischen Versuchen IIb, 304.
— Calorifer IIb, 309.
— Stromcalorimeter IIb, 312.
— Bestimmung der Wärmeeffecte beim Mischen von Schwefelsäure mit Wasser IIb, 400.
— Ableitung der Grundgleichung der kinetischen Gastheorie IIb, 502.
— Erklärung der Dissociation IIb, 516.
— Erklärung der Regelation des Eises IIb, 522.
— Rekrystallisation IIb, 523.
— Anwendung des Kravogl'schen Motors als dynamo-elektrische Maschine III, 692.
Pfaundler und Platter. Specifische Wärme des Wassers IIb, 320.
Pfaundler und Schnegg. Gefriercurve der Schwefelsäure IIb, 158.
Pfeffer. Einfluss des Lichtes auf das Pflanzenleben IIa, 297.
Pfister (Hermann und) Haarhygrometer IIb, 633.
Philipps. Magnetische Inclination III, 33.
Picard. Elektrisches Leuchten in der Barometerleere III, 190.
Pictet. Condensation der Gase IIb, 171.
— Verflüssigung von Sauerstoff IIb, 265.
— Specifisches Gewicht des flüssigen Sauerstoffs IIb, 268.
— Verflüssigung von Wasserstoff IIb, 270.
— Spannkraft der Kohlensäure und des Stickoxydulgases IIb, 199.
Pierre. Fluorescenz IIa, 274.
Pierre, J. Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
— Ausdehnung von Flüssigkeiten IIb, 86.

Pistor. Reflexionskreis IIa, 36.
Pixii. Magneto-elektrische Maschine III, 673.
Planté. Polarisationsbatterie III, 360.
Plateau. Gleichgewichtsfiguren I, 143.
— Irradiation IIa, 328.
— Anwendung stroboskopischer Scheiben I, 444.
— Darstellung der Newton'schen Farbenringe IIa, 477.
Playfair. Dichtemaximum des Wassers IIb, 80.
Plössl. Loupe IIa, 350.
— Achromatisches Objectiv IIa, 357.
— Aplanatisches Ocular IIa, 360.
— Dissectionsmikroskop IIa, 360.
Plücker. Brechungsquotienten des Flintglases IIa, 169.
— Spectralanalyse IIa, 204.
— Spectralanalytische Untersuchung von Gasen und Dämpfen IIa, 237.
— Emissionsspectra der Gase IIa, 238.
— Wellenmaschine IIa, 667.
— Cubischer Ausdehnungscoëfficient des Eises IIb, 28.
— Specifisches Gewicht des Eises IIb, 90.
Plücker und Geissler. Wasserthermometer IIb, 77.
— Dichtemaximum des Wassers IIb, 77.
— Ausdehnung des Wassers IIb, 84.
— Induction durch rotirende Magnete III, 721.
— Diamagnetische Beobachtungen III, 748, 754, 757.
— Einfluss der Krystallisation auf Diamagnetismus III, 763.
Poggendorff. Freie Axe I, 300.
— Quecksilberluftpumpe I, 234.
— Spiegelablesung IIa, 43. III, 36.
— Leidenfrost'sches Phänomen IIb, 211.
— Abhängigkeit der Art der Elektricität vom Reibzeug III, 89.
— Rheocord III, 321.
— Bestimmung der elektromotorischen Kraft eines galvanischen Elementes III, 351, 354.
— Ladung einer secundären Säule III, 357.
— Wippe III, 358.
— Multiplicator III, 452.
— Depression von Quecksilber durch Strom und Magnet III, 578.
Pahl. Stromwender III, 280.
Poisseulle. Ausfluss durch Capillarröhren I, 369.
Poisson. Cohäsionsdruck I, 146.
— Volumsänderung durch Zug I, 89.
— Potenzirtes Mariotte'sches Gesetz IIb, 445.
— Wesen des Magnetismus III, 18.
— Anordnung der Elektricität auf isolirten Leitern III, 140.
Politzer. Function des Trommelfells I, 576.
Poncelet. Theorie der Dampfmaschine IIb, 498.
Pouillet. Gesetz von Mariotte I, 210.
— Interferenzprisma IIa, 413.
— Drehung der Polarisationsebene durch Flüssigkeiten IIa, 641.
— Specifische Wärme des Platins IIb, 322.
— Pyrheliometer IIb, 594.
— Temperatur der Hagelkörner IIb, 644.
— Gesetz über die Stromstärke III, 298.
— Chronoskop III, 545.
— Thermoelemente III, 589, 594.
Preyer. Quantitative Spectralanalyse IIa, 257.
Priestley. Absorption der Gase I, 257.
— Leitung der Elektricität durch Flammen III, 143.
Prony. Zaum I, 350.
De la Provostaye und Desains. Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
Puluy. Apparat zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents IIb, 430.
— Elektrische Entladungen in verdünnten Gasen III, 666.

Q.

Quincke. Interferenzapparat I, 537.
— Wundertrommel IIa, 332.
— Galvanisches Leitungsvermögen des Wassers III, 394.
Quintus Icilius. Temperaturänderungen durch Thermostrom III, 610.

R.

Rabs. Pesograph I, 279.
Radau. Achromatisches Prisma IIa, 192.
Ramsden. Ocular IIa, 360.
— Dynamometer IIa, 378.
Rankine. Verhalten des gesättigten Wasserdampfes bei Expansion IIb, 486.

Rauch. Singende Flammen I, 441.
Real. Presse I, 114.
Réaumur. Thermometerscala IIb, 8.
Recknagel. Ausdehnungscoëfficienten IIb, 45.
— Vergleichung des Luftthermometers mit dem Quecksilberthermometer IIb, 69.
— Ausdehnung des Alkohols IIb, 87.
— Spannungscoëfficient der Luft IIb, 102.
— Luftthermometer IIb, 115.
Redtenbacher. Dynamide I, 23.
— Dynamidentheorie IIb, 501.
Régnault. Geschwindigkeit des Schalles I, 419.
— Mariotte'sches Gesetz I, 212.
— Volumenometer I, 207.
— Compressibilität der Flüssigkeiten I, 140.
— Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers IIb, 44.
— Cubischer Ausdehnungscoëfficient verschiedener Glassorten IIb, 47.
— Dilatometer IIb, 47.
— Vergleichung verschiedener Quecksilberthermometer IIb, 69.
— Ausdehnung der Luft bei constantem Druck IIb, 96.
— Druckvermehrung der Luft bei constantem Volum durch Temperatursteigerung IIb, 99.
— Spannungscoëfficient der Luft IIb, 102.
— Luftthermometer IIb, 113.
— Specifisches Gewicht der Gase IIb, 129.
— Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 182, 187.
— Spannkraftscurve IIb, 191.
— Hypsometer IIb, 194.
— Spannkraft der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten IIb, 196, 200.
— Prüfung des Dalton'schen Gesetzes IIb, 203.
— Temperatur der Dämpfe aus Salzlösungen IIb, 214.
— Dampfdichtebestimmung IIb, 235.
— Dichte ungesättigter Dämpfe IIb, 236.
— Dampferhitzungsapparate IIb, 285, 289.
— Calorimetrischer Apparat IIb, 291.
— Correctionsmethode bei calorimetrischen Arbeiten IIb, 304.
— Erkaltungsmethode zur Bestimmung der specifischen Wärme IIb, 317.
— Specifische Wärme des Wassers IIb, 319.
Régnault. Specifische Wärme verschiedener Flüssigkeiten IIb, 321.
— Specifische Wärme verschiedener Kohlenarten IIb, 322.
— Atomwärme IIb, 328.
— Atomgewicht einiger Körper IIb, 330.
— Specifische Wärme zusammengesetzter Körper IIb, 330.
— Specifische Wärme von Legirungen IIb, 334.
— Specifische Wärme der Gase bei constantem Druck IIb, 343.
— Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
— Verdampfungswärme des Wassers IIb, 363, 368.
— Verdampfungswärme anderer Flüssigkeiten IIb, 369.
— Specifische Wärme der Dämpfe IIb, 371.
— Arbeitsleistung beim Verdampfen IIb, 476.
— Condensationshygrometer IIb, 629.
Reich. Diamagnetisches Gesetz III, 751.
Reichert. Spiegelapparat IIb, 443.
Reis. Telephon III, 709.
Reitlinger. Elektrische Entladung in verdünnten Gasen III, *666*.
Ressel. Schiffsschraube I, *393*.
Reynold. Theorie des Radiometers IIb, 590.
— Theorie des Hagels IIb, 645.
Rheita. Terrestrisches Ocular IIa, 374.
Ries. Vertheilungsapparat III, 92.
— Elektrische Wirkung der Flammen III, 143.
— Elektrische Batterie III, 149.
— Anwendung der Lane'schen Maassflasche III, 157.
— Funkenmikrometer III, 157, 158.
— Schlagweite der Leydener Flasche III, 158.
— Partialentladung III, 160.
— Luftthermometer III, 167.
— Gesetze über die thermischen Wirkungen der elektrischen Entladung III, 169.
— Erklärung der Lichtenberg'schen Figuren III, 198.
— Abhängigkeit der Erwärmung durch die elektrische Entladung von der dabei geleisteten Arbeit III, 202.
— Specifischer Leitungswiderstand von Metallen III, 310.
— Inductionsspiralen für Reibungselektricität III, 629.
Ritschie. Elektromagnetischer Motor III, 503, 504.

Ritter. Chemische Wirkungen des Lichtes IIa, 294.
— Ladungssäule III, 357.
Rochon. Prisma IIa, 523.
Römer. Geschwindigkeit des Lichtes IIa, 5.
Röntgen. Verhältniss der Wärmecapacitäten der Luft IIb, 353, einiger Gase IIb, 354.
— Wärmeleitung der Krystalle IIb, 537.
Roger's Singende Flammen I, 442.
Roget's Spirale III, 560.
de Romas. Atmosphärische Elektricität III, 210.
Romershausen. Elektromagnet III, 498.
Rose. Metalllegirung IIb, 146.
Rosetti. Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
— Volumen des Wassers IIb, 84.
— Dichtemaximum des Meerwassers IIb, 85.
Ross. Magnetischer Nordpol III, 33.
Rosse. Spiegelteleskop IIa, 381.
Roy. Lineare Ausdehnungscoëfficienten fester Körper IIb, 21.
Rudberg. Kalibrirung des Thermometers IIb, 56.
— Ausdehnung der Gase bei constantem Drucke IIb, 93.
— Spannungscoëfficient der Luft IIb, 102.
— Luftthermometer IIb, 111.
— Schmelzpunkte von Metalllegirungen IIb, 147.
— Temperatur der Dämpfe aus Salzlösungen IIb, 213.
Rüdorf. Erniedrigungscoëfficient der Salzlösungen IIb, 157.
— Kältemischungen IIb, 164.
Rühlmann. Brechungsquotienten II, 169.
— Hohlprisma IIb, 172.
— Zusammenhang zwischen absoluter Temperatur und der aus dem Spannungsluftthermometer abgeleiteten Celsiustemperatur IIb, 463.
Ruhmkorf. Durchbohren von Glasplatten durch den elektrischen Funken III, 163.
— Gyrotrop III, 280.
— Commutator III, 478.
— Funkeninductor III, 645.
Rumford. Photometer IIa, 17.
— Dichtemaximum des Wassers IIb, 79.
— Differentialluftthermometer IIb, 122.
— Kunstgriff von Rumford IIb, 298.
Rumford. Verdampfungswärme des Wassers IIb, 363.
— Entwickelung von Wärme durch Reibung IIb, 424.
Rutherford. Photographie von Spectren IIa, 296.
— Maximum- und Minimumthermometer IIb, 73.
Ruths. Remanenter Magnetismus III, 488.

S.

Salleron. Tropfgläschen I, 141.
— Calorimeter für hohe Temperaturen IIb, 326.
Saussure. Absorption der Gase I, 232.
— Fortpflanzung des Schalles I, 410.
— Haarhygrometer IIb, 633.
— Elektroskop III, 95.
Sauveur. Tonhöhe I, 462.
— Bestimmung d. absoluten Schwingungszahl I, 540.
Savart. Beschaffenheit der ausfliessenden Wasserstrahlen I, 360.
— Mittönen einer Luftsäule I, 428.
— Tonhöhe von Pfeifen I, 454.
— Bestimmung d. absoluten Schwingungszahlen I, 466.
— Gränzen der Hörbarkeit I, 469.
— Klangfiguren I, 488, 492.
— Verrückung der Knotenlinien I, 492.
— Mittheilung der Schallschwingungen I, 531.
— Polariskop IIa, 594.
Schaffgotsch. Singende Flammen I, 442.
Scheibler. Deutsche Stimmung I, 462.
— Bestimmung der Schwingungszahl der Töne durch Stösse I, 540.
Scheiner. Versuch von Scheiner IIa, 307.
Schieck. Mikroskop IIa, 357.
Schilling. Telegraphie III, 529.
Schleiermacher. Centrifugalmaschine I, 292.
Schmidt, A. Wassersäulenmaschine I, 372.
Schmidt, G. Ausströmen der Gase I, 381.
— Aräometer I, 129.
Schmidt, J. Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 177.
Schneebeli. Gränze des remanenten Magnetismus III, 487.
— Elektrische Uhren III, 551.
Schnegg (Pfaundler und) Gefriercurve der Schwefelsäurehydrate IIb, 158.

Schönbein. Theorie des Galvanismus III, 257.
— Versuche über galvanische Polarisation III, 362.
— Passivität des Eisens III, 367.
Schubart. Darstellung von Saitenschwingungen I, 484.
Schubring. Resonator I, 551.
Schuckert. Dynamo-elektrische Maschine III, 694.
Schüller. Specifische Wärme von Gemischen indifferenter Flüssigkeiten IIb, 334.
Schuller und Wartha. Eiscalorimeter von Bunsen IIb, 283.
— Wärmeeinheit IIb, 272.
— Verbrennungswärme des Wasserstoffs IIb, 382.
Schulze. Schulze'scher Körper I, 551.
Schwaab. Theorie des Hagels IIb, 645.
Schweigger. Multiplicator III, 452.
Schwerdt. Ausströmungsapparat für Dampf zur Erzeugung von Elektricität III, 121.
— Beugung des Lichtes IIa, 432, 446.
— Bestimmung der Wellenlänge des Lichtes IIa, 443.
— Intensität des Beugungsbildes IIa, 446.
Scott und König. Phonautograph I, 553.
Scott Russel. Aenderung der Tonhöhe durch Bewegung I, 469.
Secchi. Spectrum der Fixsterne IIa, 253.
— Absorptionsspectra IIa, 243.
Seebeck. Sirene I, 464.
— Gewinnung von Kalium durch Zerlegung von Aetzkali III, 397.
— Wärmestrahlen IIb, 262.
— Maximum der Wärmeentwickelung im Spectrum IIb, 559.
— Thermo-elektricität III, 587.
— Thermo-elektrische Spannungsreihe III, 591.
Segner. Wasserrad I, 371.
Selligne. Achromatisches Objectiv IIa, 357.
Senarmont. Prisma IIa, 522.
— Präparate zur Darstellung der Apophyllitringe IIa, 581.
— Chromatische Polarisation II a, 590.
— Wärmeleitung in Krystallen IIb, 537.
Senguerd. Luftpumpenhahn I, 220.
Siemens. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in Eisendraht III, 194.
Siemens. Galvanisches Element III, 265.
— Modification des Bunsen'schen Elementes III, 267.
— Einheit der Stromstärke III, 287.
— Tangentenbussole III, 290.
— Specifische Leitungswiderstände von Metallen III, 310.
— Einheit des Leitungswiderstandes III, 316.
— Stöpselapparat III, 323.
— Widerstandsetalon III, 324.
— Abänderung der Wheatstone'schen Brücke III, 339.
— Verfertigung von Kohlen für elektrisches Licht III, 384.
— Glockenmagnet III, 467.
— Universalgalvanometer III, 471.
— Chronoskop III, 543.
— Cylinderinductor III, 680.
— Dynamo-elektrisches Princip III, 692.
Siemens und Halske. Tangentenbussole III, 459.
— Sinusbussole III, 460.
— Spiegelgalvanometer III, 471.
— Trommelmaschine III, 697.
Silbermann. Compressionspumpe I, 236.
— Hohlprisma IIa, 75.
— Heliostat IIa, 39.
Silbermann (Favre und) Quecksilbercalorimeter IIb, 314.
— Verdampfungswärmen von Flüssigkeiten IIb, 370.
— Verbrennungswärme IIb, 379.
— „ allotroper Modificationen IIb, 381.
— Gesetz über die Verbrennungswärme von Verbindungen IIb, 382.
— Verbrennungswärme metamerer und polymerer Körper IIb, 384.
— Wärmeentwickelung bei Bildung von Chlorverbindungen IIb, 390.
— Bestimmung der Wärmetönung bei chemischen Processen IIb, 392.
— Bestimmung von Absorptionswärmen IIb, 394.
— Verbrennungswärme von Metallen IIb, 413.
— Apparat zur Erzeugung von Wärme durch Compression IIb, 425.
Simmler. Spectroskop IIa, 212.
Singer. Trockene Säule III, 249.
Six und Bellani. Thermometer IIb, 73.
Smeaton. Lineare Ausdehnungscoëfficienten fester Körper IIb, 22.
Smee. Galvanisches Element III, 274.
Snellius. Brechungsgesetz IIa, 68.
Soleil. Doppelte Quarzplatte IIa, 641.

Soleil. Saccharimeter IIa, 644.
— Compensator IIa, 646.
— Illuminator IIa, 647.
— Ausdehnung der Krystalle IIb, 35.
Solet. Spectrum des Sauerstoffs IIa, 239.
Sömmering. Camera lucida IIa, 346.
— Spiegel IIa, 376.
— Telegraph III, 528.
Sorby. Mikrospectroskop IIa, 215.
— Quantitative Spectralanalyse IIa, 257.
Sorge. Combinationstöne I, 544.
Soret. Anomale Dispersion IIa, 199.
Southern. Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 177.
— Verdampfungswärme IIb, 368.
Spencer. Galvanoplastik III, 419.
Sprengel. Luftpumpe I, 364.
Stampfer. Optometer IIa, 310.
— Wunderscheibe IIa, 330.
— Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.
Stateham. Elektrische Zünder III, 657.
Staudinger. Luftpumpe I, 221, 226.
— Kathetometer IIb, 42.
Steeg. Mikroskopischer Polarisationsapparat IIa, 568.
— Apophyllitringe IIa, 581.
Stefan. Brechungsquotienten IIa, 176.
— Interferenzstreifen im Spectrum IIa, 558.
— Drehungswinkel der Polarisationsebene IIa, 603.
— Abhängigkeit des Drehungswinkels von der Wellenlänge IIa, 604.
— Natur des unpolarisirten Lichtes IIa, 627, 628.
— Interpolarisationsgleichungen des specifischen Drehungsvermögens von Terpentinöl und Citronenöl IIa, 657.
— Diffusion IIb, 517.
— Wärmeleitungsvermögen der Gase IIb, 542.
— Tragkraft der Elektromagnete III, 492.
— Elektromotorische Kraft von Thermoelementen III, 595.
Steinheil. Spectralapparat IIa, 207, 211.
— Spiegelteleskop IIa, 382.
— Telegraphie III, 529.
— Stundensteller III, 552.
Steinhauser. Stabilität I, 73.
— Apparat zum Scheiner'schen Versuch IIa, 307.
— Stereoskopische Wandtafeln IIa, 321.
— Stereoskop IIa, 326.
Stockbridge. Theorie des Hagels IIb, 636.
Stöhr. Luftpumpe I, 221.
Stöhrer. Sirene I, 462.
— Zusammensetzung des Lichtes IIa, 143.
— Projectionsapparat IIa, 387.
— Apparat zur mechanischen Darstellung des Brechungsgesetzes IIa, 431.
— Condensator III, 147.
— Modification des Bunsen'schen Elementes III, 267.
— Pachytrop III, 278.
— Kohlenlichtregulatoren III, 388.
— Verticalgalvanoskop III, 451.
— Verticalmultiplicator III, 454.
— Elektromagnetischer Motor III, 511.
— Funkeninductoren III, 651.
— Magnetoelektrische Maschine III, 673.
Stokes. Fluorescenz IIa, 264, 265, 268.
— Fluorescenzspectrum IIa, 270.
— Regel von Stokes IIa, 271.
— Comparator IIa, 619.
Sturgeon. Unterschied der Wirkungen von massiven Eisenkernen und von Drahtbündeln III, 638.
Sturm (Colladon und) Compressibilität der Flüssigkeiten I, 139.
— Geschwindigkeit des Schalles in Wasser I, 423.
Swendson. Mariotte'sches Gesetz I, 209.

T.

Tait. Theorie des Radiometers IIb, 590.
Talbot. Spectralanalyse IIa, 204.
— Interferenzlinien IIa, 559.
Tartini. Combinationstöne I, 544.
Tate (Fairbairn und). Specifisches Gewicht der gesättigten Dämpfe IIb, 240.
Taylor. Problem schwingender Saiten I, 473.
Terquem. Camera lucida IIa, 347.
Terquem und Trannin. Apparat zur Demonstration der Brechung des Lichtes IIa, 64.
Thalén. Spectralapparat IIa, 209.
— Emissionsspectra IIa, 239, 241.
— Sonnenspectrum IIa, 251.
v. Than. Bunsen'sches Eiscalorimeter IIb, 282.
— Verbrennungswärme des Wasserstoffs IIb, 382.

Thilorier. Condensationsapparat IIb, 247.
Thyri. Myographion III, 544.
Thomsen. Specifische Wärme von Salzlösungen und Mischungen IIb, 336.
— Wärmetönung IIb, 391.
— Bestimmung von Mischungswärmen IIb, 392.
— Bestimmung von Lösungswärmen IIb, 393.
— Wärmeentwickelung bei Bildung von Metalloxyden IIb, 418.
— Wärmeentwickelung bei Bildung von Chlormetallen IIb, 419.
— Polarisationsbatterie III, 360.
— Verbindungswärme von Wasserstoff und Sauerstoff III, 433.
— Chemische Energie verschiedener Elemente III, 429, 437, 439.
Thomson, J. Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Drucke IIb, 149.
Thomson, W. Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Drucke IIb, 149.
— Verbrennungswärme des Wasserstoffs IIb, 382.
— Absolute Temperaturscala IIb, 460.
— Quadrantenelektrometer III, 133.
— Einfluss der Temperatur auf Thermoelektricität III, 595.
— Einfluss der Dehnung auf die Thermoelektricität III, 599.
Tollinger. Kaleidophon IIa, 498.
— Gefrier- und Sättigungscurve des salpetersauren Ammoniaks IIb, 154, 165.
— Atomwärme des Stickstoffs IIb, 333.
— Lösungswärme des salpetersauren Ammoniaks IIb, 410.
Töpler. Anwendung stroboskopischer Scheiben I, 444.
— Dichtigkeitsänderungen der Luft am Boden gedeckter Pfeifen I, 454.
— Stroboskopische Beobachtung schwingender Saiten I, 486.
— Influenzmaschine III, 110.
— Telephonrufapparat III, 714.
De la Torre. Aenderung der Declination durch Erdbeben III, 47.
Toricelli. Schwere der Luft I, 172.
— Theorem von Toricelli I, 353.
Tralles. Alkoholometer I, 133.
— Dichtemaximum des Wassers IIb, 79.
v. Trentinaglia. Schmelzwärme des unterschwefligsauren Natrons IIb, 359.
Troost. Dampfdichtebestimmung IIb, 235.
Troughton. Lineare Ausdehnungscoëfficienten fester Körper IIb, 22.
Tuchschmid. Specifisches Drehungsvermögen IIa, 657.
Tyndall. Schallreflexion I, 426.
— Singende Flammen I, 442.
— Reflexionsapparat IIa, 25.
— Apparat zur Demonstration der Brechung des Lichtes IIa, 62.
— Calorescenz IIa, 288; IIb, 573.
— Vorleseversuch über specifische Wärme IIb, 277.
— Entwickelung von Wärme durch Reibung IIb, 424.
— Pneumatisches Feuerzeug IIb, 427.
— Verbrauch von Wärme bei Expansion IIb, 427.
— Wärmeleitung IIb, 526.
— „ des Holzes IIb, 538.
— Absorption der Wärme durch Gase und Dämpfe IIb, 567.
— Wärmestrahlungsvermögen der Gase IIb, 580.
— Dynamische Strahlung IIb, 582.
— „ Absorption IIb, 582.
— Diamagnetische Apparate III, 750, 752.
— Diamagnetische Gesetze III, 752.

U.

Ure. Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 177.

V.

Valentin. Myographion III, 544.
Valerius. Verbrauchstemperatur IIb, 686.
Ventzke. Saccharimeter IIa, 648.
Verdet. Drehung der Polarisationsebene zwischen Magnetpolen III, 771.
Vidi. Aneroid I, 243.
Vierordt. Quantitative Spectralanalyse IIa, 257.
Violle. Schmelzpunkt von Metallen IIb, 655.
— Wahre specifische Wärme des Platins IIb, 656.
Vogel. Spectrum der Fixsterne IIa, 254.
— Chemische Wirkungen des Lichtes IIa, 295.
— Theorie des Hagels IIb, 645.

Volkmann. Kreuzungspunkt des Auges II, 303.
Volta. Theorie des Hagels IIb, 645.
— Elektroskop III, 95.
— Elektrophor III, 98.
— Elektrische Wirkung der Flammen III, 143.
— Condensator III, 152.
— Theorie des Galvanismus III, 227, 254.
— Fundamentalversuche über Contactelektricität III, 228.
— Spannungsreihe III, 239.
— Säule III, 244.
Vorsselmann de Heer. Elektromagnetischer Motor III, 503.
— Elektrischer Telegraph III, 529.

W.

Wagner. Magnetischer Hammer III, 625.
Weidele. Hauchbilder I, 257.
Walferdin. Metastatisches Thermometer IIb, 72.
— Minimumthermometer IIb, 75.
Walsh. Zitterrochen III, 784.
v. Waltenhofen. Messung der Vergrösserung eines Fernrohrs IIa, 377.
— Durchbohren von Glas durch den elektrischen Funken III, 165.
— Bestimmung der elektromotorischen Kraft eines galvanischen Elementes III, 353.
— Elektromotorische Kräfte einiger Elemente III, 355, 438.
— Fehlerquelle bei der Bestimmung der elektromotorischen Kraft eines galvanischen Elementes III, 354.
— Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom III, 378.
— Einfluss der Stromstärke auf Magnetismus III, 483, 484, 485, 487, 488.
— Tragkraft der Elektromagnete III, 491.
— Magnetische Wirkung einer Stromspirale III, 496, 497.
— Kravogl's Motor III, 516.
— Berechnung des Wirkungsgrades des elektrischen Motors III, 524.
— Thermosäulen III, 605.
— Theorie der Thermoelektricität III, 620.
— Elektrische Zündungen III, 657.
— Messungen an magnetoelektrischen Maschinen III, 704.
Warren de la Rue und Müller. Chlorsilberkette III, 276.
Wartha (Schuller und) Eiscalorimeter von Bunsen IIb, 283.
— Wärmeeinheit IIb, 272.
— Verbrennungswärme des Wasserstoffs IIb, 382.
Wassmuth. Magnetische Wirkung einer Stromspirale III, 496.
Watt. Dampfmaschine IIb, 495.
— Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 177.
Weber, E. Function des runden Fensterchens des Gehörorgans I, 575.
Weber, E. H. und W. Wasserwellen I, 405.
— Luftdruck I, 197.
— Stehende Schwingungen I, 403.
Weber, H. F. Specifische Wärme des Diamants IIb, 322.
Weber, L. Dichtemaximum des Wassers IIb, 80.
Weber, W. Barometer I, 184.
— Monocord I, 476.
— Zungenpfeifen I, 526.
— Absolutes Maasssystem I, 584.
— Wesen des Magnetismus III, 19.
— Versuche über die Totalwirkung von Magneten III, 63.
— Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus III, 68.
— Tangentenbussole III, 288.
— Einheit des Leitungswiderstandes III, 326.
— Elektrodynamische Versuche III, 566.
— Dynamometer III, 568.
— Absolutes Strommaass III, 584.
— Unipolare Induction III, 722.
— Erdinductor III, 724.
— Theorie der Elektrodynamik III, 735.
— Theorie der Induction III, 737.
— „ des Diamagnetismus III, 753.
Wedgwood. Photographie IIa, 291.
Weinhold. Luftthermometer IIb, 119.
— Specifische Wärme des Schmiedeeisens IIb, 325.
— Calorimeter für hohe Temperaturen IIb, 326.
— Telephonrufapparat III, 713.
— Mikrophon III, 715.
Weisbach. Verhältniss der Wärmecapacitäten der Gase IIb, 352.
— Ausflussgeschwindigkeit I, 355.
Weiss. Brechungsquotienten IIa, 170, 176.
Welter. Sicherheitsröhre I, 237.
Wenham. Binoculares Mikroskop IIa, 367.
van Wetteren. Hufeisenmagnete III, 17.

Wertheim. Bestimmung des Elasticitätscoëfficienten I, 83.
— Elasticitätscoëfficienten von Metallen I, 84.
— Volumänderung durch Zug I, 89.
— Phonautograph IIa, 515.
— Wasserpfeifen I, 523.
Wertheim und Chevandier. Elasticitätscoëfficienten verschiedener Glassorten I, 85.
— Elasticitätsconstanten verschiedener Holzarten I, 86, 87.
— Festigkeitsmodulus verschiedener Holzarten I, 92.
— Töne beim Magnetisiren des Eisens III, 499.
Wheatstone. Kaleidophon I, 498.
— Stereoskop IIa, 323.
— Apparat zur mechanischen Darstellung der Figuren von Lissajous I, 510.
— Dauer des elektrischen Funkens III, 190.
— Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität III, 192.
— Rheostat III, 318.
— Brücke III, 338.
— Methode zur Bestimmung der Constanten der Rheomotoren III, 349.
— Telegraphie III, 529.
Wiedemann, E. Elliptische Polarisation IIa, 623.
— Schmelzpunkte von Metalllegirungen IIb, 148.
— Specifische Wärme der Gase IIb, 347.
— Specifische Wärme der Dämpfe IIb, 371.
Wiedemann, G. Specifisches Drehungsvermögen IIa, 657.
— Wanderung der Ionen III, 415.
— Apparat zur elektrischen Endosmose III, 418.
— Zersetzungsapparat III, 405.
— Elektrolytischer Widerstand III, 427.
— Spiegelgalvanometer III, 465.
— Torsion und Magnetismus III, 498.
— Diamagnetismus von Flüssigkeiten III, 759.
— Specifischer Magnetismus III, 762.
— Gesetz der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene III, 771.
Wiedemann und Franz. Wärmeleitung fester Körper IIb, 533, 536.
— Beziehung zwischen elektrischem und calorischem Leitungsvermögen III, 311.
Wiedemann und Franz. Leitungsvermögen von Metalllegirungen III, 311.
Wilcke. Messung von Wärmemengen IIb, 163.
Wild. Polaristrobometer IIa, 642.
— Saccharimeter IIa, 644.
— Unipolare Wärmeentwickelung III, 382, 616.
— Wärmeabsorption der Gase IIb, 572.
— Thermoströme zwischen Flüssigkeiten III, 614.
Wilde. Magnetoelektrische Maschine III, 681.
Wilke. Schmelzwärme des Eises IIb, 360.
— Elektrophor III, 98.
William. Schmelzpunkterniedrigung durch Druck IIb, 149.
Williamson. Constitution der Flüskeiten III, 424.
van der Willigen. Spectrum des Wasserstoffs IIa, 238.
— Messung der Wellenlängen des Lichtes IIa, 459.
Willis. Theorie der Vocallaute I, 571.
Wilson. Loupe IIa, 350.
Winkelmann. Specifische Wärme der Dämpfe IIb, 372.
— Specifische Wärme des Quecksilbers IIb, 321.
— Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Flüssigkeiten IIb, 540.
Winter. Elektrisirmaschine III, 102.
— Hygroelektrometer III, 107.
Wolf. Figuren von Lissajous I, 509.
Wollaston. Ausziehen von Drähten I, 9.
— Reflexionsgoniometer IIa, 30.
— Brechungsquotienten IIa, 89.
— Sonnenspectrum IIa, 138.
— Linien im Sonnenspectrum IIa, 149.
— Spectralanalyse IIa, 204.
— Chemische Wirkungen des Lichtes IIa, 294.
— Camera lucida IIa, 345.
— Prisma IIa, 525.
— Hypsometer IIb, 194.
— Kryophor IIb, 224.
Wasserzersetzung durch Reibungselektricität III, 199.
— Galvanische Kette III, 259.
Wood. Metalllegirung IIb, 147.
Wrede. Interferenzstreifen IIa, 559.
Wüllner. Emissionsspectra der Gase IIa, 238.
— Brechungsquotienten IIa, 170, 177.

Wüllner. Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers IIb, 45.
— Correction der Thermometerablesungen IIb, 66.
— Temperatur des Dampfes aus Salzlösungen IIb, 214.
— Spannung des aus Salzlösungen sich bildenden Dampfes IIb, 215.
— Influenzwirkung bei flüssigen Isolatoren III, 183.

Y.

Young. Combinationstöne I, 544.
— Empfindung der Farben IIa, 339.
— Undulationstheorie IIa, 395.
— Beugung des Lichtes IIa, 432.
— Farben dünner Blättchen IIa, 465.
— Dichtemaximum des Wassers IIb, 78.

Z.

Zamboni. Trockene Säule III, 248.
Zantedeschi. Diamagnetismus der Flammen III, 754.
Zehfuss. Polarlicht III, 224.
Zenker. Prisma IIa, 194.
Zeuner. Wärmegewicht IIb, 459.
— Arbeitsleistung beim Verdampfen IIb, 483.
Ziegler. Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 177.
Zöllner. Sonnenspectroskop IIa, 214.
— Reversionsspectroskop IIa, 214.
— Spectrum des Nordlichtes II a, 255.
— Verschiebung der Spectrallinien IIa, 256.
— Theorie des Radiometers IIb, 590.
— Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom III, 378.
— Elektromagnetischer Motor III, 503.

SACHREGISTER.

Bemerkung. I bezeichet Band I; IIa bez. Band II, Abtheilung I; IIb bez. Band II, Abtheilung II; III bez. Bd. III.

A.

Aberration des Lichtes IIa, 5.
— Sphärische, bei Spiegeln IIa, 49.
— Sphärische, bei Linsen IIa, 133.
— Chromatische IIa, 195.
Ablenkung des Lichtes in Prismen IIa, 80.
— Minimum derselben IIa, 84.
— Grösse der Ablenkung bei der Brechung IIa, 75.
— prismatische Messung derselben IIa, 150.
— der Magnetnadel durch den elektrischen Strom III, 448.
Ablesefehler IIb, 54.
Absorbirtes Licht, Wirkungen desselben IIa, 261.
Absorptiometer I, 259.
Absorption der Gase durch feste Körper I, 251.
— der Gase durch flüssige Körper I, 257.
— von Gasmengen I, 261.
— des Lichtes in Gasen und Dämpfen IIa, 242.
— des Lichtes in festen und flüssigen Körpern IIa, 256.
— fluorescenzerregender Strahlen IIa, 273.
— des Lichtes in farbigen doppelt brechenden Krystallen IIa, 657.
— der Wärmestrahlen IIb, 550.
— der Wärme in festen Körpern IIb, 553.
— Abhängigkeit derselben von der Dicke des durchstrahlten Körpers IIb, 556.
— der Wärme in Gasen und Dämpfen IIb, 567.
— Abhängigkeit der Absorption der Wärme in Gasen von der Dichte derselben IIb, 570.
— dynamische IIb, 582.
— der Wärmestrahlen der Sonne durch die Atmosphäre IIb, 595.
Absorptions-Coëfficient I, 259.
— Aenderung desselben mit der Temperatur I, 260.
— verschiedener Gase I, 261.
Absorptionsgesetz IIa, 257.
Absorptionsspectra IIa, 227.
— der Gase und Dämpfe IIa, 242.
— fester und flüssiger Körper IIa, 256.
Absorptionsverhältniss IIa, 259.
Absorptionsvermögen für Licht IIa, 243.
— Verhältniss zum Emissionsvermögen IIa, 243.
— für Wärme IIb, 550.
— Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Oberfläche IIb, 550, 579.
— für Strahlen verschiedener Wärmequellen IIb, 574.
Absorptionswärme IIb, 391, 394.
Abstossung durch Capillarwirkung I, 160.
— magnetische III, 5.
— Gesetze derselben III, 56.
— elektrische III, 86.

Abstossung, Intensität derselben III, 123.
Accommodation IIa, 305.
Accommodationsfähigkeit IIa, 308.
Accommodationsgebiet IIa, 306.
Achromatische Linsen IIa, 194.
Achromatisches Mikroskop IIa, 356.
Achromatische Prismen IIa, 183.
Achromatisirtes Kalkspathprisma IIa, 521.
Achromatisches Ocular IIa, 357.
Achromatismus des Auges IIa, 310.
Adhäsion I, 35, 93.
— zwischen festen und flüssigen Körpern I, 147.
Adiabatische Curve IIb, 443.
Adiabatische Compression IIb, 445.
— Arbeit bei adiabatischer Compression IIb, 447.
Aequator, magnetischer III, 33.
Aequivalent, chemisches I, 25.
— endosmotisches I, 166.
— thermisches IIb, 328.
— mechanisches, der Wärme IIb, 428.
— Bestimmung des mechanischen Aequivalentes der Wärme durch Reibungsversuche IIb, 428.
— durch Stossversuche IIb, 432.
— durch Compression von Gasen IIb, 435.
— aus der Ausdehnung der Gase IIb, 438.
— Berechnung desselben aus den specifischen Wärmen der Gase IIb, 440.
— elektrolytisches III, 409.
Aequivalentvolum I, 32.
Aether I, 23, IIa, 3.
Affinität als Form von potentieller Energie IIb, 465.
Aggregatzustände I, 23.
— Theorie des gasförmigen Aggregatzustandes IIb, 501.
— Theorie des festen und flüssigen Aggregatzustandes IIb, 520.
— Aenderung des Aggregatzustandes IIb, 132, 520.
Alkoholometer I, 131.
Alterniren der Lichtintensität des elektrischen Funkens III, 196.
Amalgam von Kienmayer III, 88.
Amplitude der Pendelschwingungen I, 302.
— Abhängigkeit der Tonstärke von der Amplitude der Schwingungen I, 416.
Analyseur IIa, 483.
Anelektrische Körper III, 84.
Aneroid-Barometer I, 242.
Anion III, 391.
Anker der Magnete III, 14.
— polarisirter III, 550.
Anode III, 391.
Ansammlungsapparate, elektrische III, 145.
— Bindungszahl, Verstärkungszahl und Ladungsgränze derselben III, 154.
Anziehung durch Capillarwirkung I, 160.
— allgemeine der Massen I, 10.
— Gesetz derselben I, 11.
— magnetische III, 5.
— Gesetze derselben III, 56.
— elektrische III, 86.
— Intensität derselben III, 123.
— Aperiodischer Zustand der Magnetnadel III, 463.
Aplanatisches Linsensystem IIa, 135.
Aplanatisches Ocular IIa, 360.
Aräometer von Nicholson I, 126.
— Scalenaräometer I, 127.
— für besondere Flüssigkeiten I, 131.
— mit willkürlicher Scala I, 134.
Arbeit einer Kraft I, 317.
— bei chemischen Reactionen IIb, 396.
— Umsetzen in Wärme IIb, 420.
— bei adiabatischer Compression IIb, 447.
— bei einem vollkommenen Kreisprocess IIb, 454, 460.
— beim Verdampfen IIb, 476.
— bei der Aenderung der Lage elektrischer Massen III, 208.
— bei Erzeugung von Elektricität III, 208.
Arbeitsäquivalent der Wärme IIb, 428.
Arbeitseinheit I, 317, 584, 587.
Arbeitsfähigkeit eines elektrischen Systems III, 207.
Arbeitsleistung der Dampfmaschine IIb, 496.
Archimedisches Princip I, 119.
Armatur eines Magneten III, 13.
Assimilirung IIa, 341.
Astasirungsvorrichtung III, 463, 469.
Astatische Nadel III, 35.
— Leitungsdrähte III, 554.
Atherman IIb, 552.
Atmosphäre der Erde IIb, 614.
Atmosphärendruck I, 183.
Atmosphärische Elektricität III, 210.
Atom I, 20, 24.
Atomistische Theorie I, 29.
Atomgewicht I, 29.
Atomgewicht und specifische Wärme IIb, 327.
Atomtemperatur der Gase IIb, 516.
Atomvolum I, 32.

Atomwärme, Gesetz von Dulong-Petit IIb, 328.
— einfacher Stoffe IIb, 329.
— zusammengesetzter Körper IIb, 330.
— Gesetz von Kopp darüber IIb, 332.
— der einfachen Gase IIb, 347.
Auftrieb in Flüssigkeiten I, 119.
— in Gasen I, 246.
Auflösung IIb, 153.
Aufgelöste Substanzen, Einfluss auf den Siedepunkt IIb, 213.
— Einfluss auf den Gefrierpunkt IIb, 153.
Augen, zusammengesetzte IIa, 299.
— einfache IIa, 300.
— reducirtes IIa, 305.
Ausbreitungswiderstand III, 317.
Ausdehnung, lineare IIb, 10.
— Messung der linearen Ausdehnung IIb, 14.
— cubische IIb, 26.
— Anwendung der Ausdehnung fester Körper IIb, 29.
— der Krystalle IIb, 34.
— absolute und scheinbare, der Flüssigkeiten IIb, 36.
— absolute, des Quecksilbers IIb, 40.
— scheinbare, des Quecksilbers IIb, 46.
— scheinbare, des Quecksilbers als Maass der Temperatur IIb, 50.
— Bestimmung der cubischen Ausdehnung von Gefässen IIb, 47.
— des Wassers IIb, 76 bis 85.
— des Wassers, Tabelle IIb, 82.
— anderer Flüssigkeiten IIb, 85.
— cubische, fester Körper, Bestimmung derselben IIb, 88.
— der Gase IIb, 91.
— der flüssigen Kohlensäure IIb, 253.
— Verhalten gesättigter Wasserdämpfe bei der Ausdehnung IIb, 485.
— beim Schmelzen fester Körper IIb, 89.
Ausdehnungscoëfficient IIb, 10.
— wahrer und mittlerer IIb, 13.
— momentaner IIb, 13.
— graphische Darstellung des wahren und mittleren IIb, 14.
— linearer, verschiedener fester Körper IIb, 21.
— cubischer IIb, 26.
— cubischer, Berechnung aus dem linearen IIb, 27.
— cubischer, verschiedener Körper IIb, 28.
— cubischer, des Eises IIb, 28.
Ausdehnungscoëfficient, cubischer, von Gefässen IIb, 37.
— cubischer, des Quecksilbers IIb, 45.
— cubischer, verschiedener Glassorten IIb, 47.
— der Luft bei constantem Druck IIb, 92, 95, 98.
— anderer Gase IIb, 103.
Ausfluss durch Capillarröhren I, 369.
Ausflussgeschwindigkeit von Flüssigkeiten I, 353.
— von Gasen I, 382.
Ausflussmenge I, 358, 361.
Auslader, allgemeiner III, 147, 162.
Ausströmen der Gase I, 379.
Axe, freie I, 298.
— magnetische III, 6.
— von Linsen IIa, 101.
— von Spiegeln IIa, 46.
— optische, in einaxigen Krystallen IIa, 505.
— optische, in zweiaxigen Krystallen IIa, 533.
— optische, Beziehung zwischen Krystallform und Lage der optischen Axen IIa, 534.
— optische, ungleiche Lage derselben für verschiedenfarbige Strahlen IIa, 588.
— symmetrische IIa, 591.
Axenfarbe IIa, 659.
Axenwinkel, Messung derselben IIa, 584.
Axenwinkelapparat IIa, 584.

B.

Balance I, 335.
Balancier bei Dampfmaschinen IIb, 496.
Ballonelement III, 265.
Bandenspectra IIa, 238.
Bandspirale III, 479.
Bank, optische IIa, 19.
Barometer I, 182.
— Gefässbarometer I, 187.
— Heberbarometer I, 191.
— Aneroidbarometer I, 242.
— Radbarometer I, 195.
Barometerprobe I, 219.
Barometerstand, Variationen desselben I, 194, IIb, 615.
— Ursachen derselben IIb, 616.
Baroskop I, 246.
Batterie, elektrische III, 149.
— galvanische III, 245, 259.
— constante galvanische Batterien III, 263.
— Gasbatterie III, 364.
Beharrungsvermögen I, 6.

Beleuchtungsstärke IIa, 13, 671.
— Gesetze darüber IIa, 14, 15.
— Messung derselben IIa, 17 bis 22.
Beschleunigende Kraft der Schwere I, 271, 327,
Beschleunigung I, 271.
Beschleunigungswiderstände I, 318.
Beschleunigungseinheit I, 579.
Beugung des Lichtes IIa, 396.
— der Wärmestrahlen IIb, 584.
Beugungsbild, Breite und Intensität desselben IIa, 444.
Beugungserscheinungen durch eine Oeffnung IIa, 432.
— Erklärung derselben IIa, 436.
— durch mehrere Oeffnungen IIa, 447.
Beugungsgitter IIa, 448.
— Anwendung derselben zur Messung der Wellenlänge des Lichtes IIa, 457.
Beugungsspectra erster Classe IIa, 435.
— Intensität derselben IIa, 445.
— zweiter Classe IIa, 447.
— Eigenschaft derselben IIa, 454.
— Vergleichung des Beugungsspectrums mit dem prismatischen IIa, 463.
Bewegung I, 267.
— gleichförmige I, 267.
— ungleichförmige I, 268.
— Gesetze der Bewegung von Galiläi I, 268, 269.
— gleichförmig beschleunigte I, 269.
— „ verzögerte I, 280.
— Centralbewegung I, 285.
— Wurfbewegung I, 284.
— Pendelbewegung I, 303, 310.
— drehende I, 320.
— schwingende I, 310, 401.
Bewegungsmoment der Molecüle IIb, 518.
Bewegungsquantität beim Stoss I, 341.
Bewegungswiderstände I, 318.
Bewegungszustand, ungleicher, der einzelnen Gasmolecüle IIb, 514.
Bifilarelektroskop III, 98.
Bifilarmagnetometer III, 76.
Bifilarrolle III, 566.
Bilder ebener Spiegel IIa, 26.
— sphärischer Hohlspiegel IIa, 52.
— „ Convexspiegel IIa, 57.
— von Prismen IIa, 83.
— der Linsen IIa, 123.
Bindungszahl eines Ansammlungsapparates III, 154.
Blasebalg I, 377.
Blasebalgharmonika I, 524.
Blasinstrumente I, 561.
Blendungen IIa, 134.
Blitz III, 211.
— Wirkungen desselben auf der Erde III, 212.
Blitzableiter III, 213.
Blitzröhre III, 186.
Blitztafel III, 187.
Bodendruck I, 112.
Brachyteleskop IIa, 382.
Brechende Kraft IIa, 93.
— des Auges IIa, 308.
Brechung des Lichtes IIa, 60, 61.
— durch eine Kugelfläche IIa, 103.
— durch ein System von zwei Kugelflächen IIa, 105.
— durch Prismen IIa, 78.
— Erklärung der Brechung IIa, 421.
— der Wärmestrahlen IIb, 558.
— doppelte, des Kalkspaths IIa, 500.
— Erklärung der doppelten Brechung durch die Vibrationstheorie IIa, 516.
— doppelte, in zweiaxigen Krystallen IIa, 529.
— doppelte, des zusammengedrückten Glases IIa, 539.
— doppelte, des Bergkrystalles in der Richtung seiner Axe IIa, 633.
— doppelte, in geglühten Gläsern IIa, 662.
Brechungsebene IIa, 61.
Brechungsgesetz IIa, 61.
— Ableitung desselben IIa, 421.
— mechanische Bedeutung desselben IIa, 427.
Brechungsquotient, absoluter IIa, 92.
— relativer IIa, 65.
— fester und flüssiger Substanzen IIa, 87.
— der Gase IIa, 94.
— Bestimmung mittelst totaler Reflexion IIa, 88, 163.
— nach Fraunhofer IIa, 151.
— verschiedenfarbiger Lichtstrahlen IIa, 136, 166.
— mittlerer, IIa, 166.
— Abhängigkeit von der Temperatur und Dichte IIa, 169.
— Abhängigkeit von der Zusammensetzung der brechenden Substanzen IIa, 176.
Brechungsvermögen IIa, 93.
Brechungswinkel IIa, 61.
Brenner von Bunsen IIb, 221.
Brennlinie IIa, 58.
Brennpunkt von Spiegeln IIa, 48.
— von Linsen IIa, 107.
Brennweite bei Spiegeln IIa, 51.
— bei kugelförmigen brechenden Flächen IIa, 107.
— bei Convexlinsen IIa, 109.
— bei Concavlinsen IIa, 111.
— Bestimmung derselben bei Convexlinsen IIa, 124.

Brennweite, Bestimmung derselben bei Concavlinsen IIa, 126.
Briefwage I, 88.
Brücke von Wheatstone III, 338.
Büschel, Haidinger'sche IIa, 666.

C.

Calmen, Region der Calmen IIb, 620.
Colorescenz IIa, 288, IIb, 573.
Calorie IIb, 273.
Calorifer IIb, 309.
Calorimeter, Eiscalorimeter IIb, 278, 280.
— Wassercalorimeter IIb, 286.
— Quecksilbercalorimeter IIb, 314.
— Stromcalorimeter IIb, 312.
Calorimetrie IIb, 271.
Calorimetrische Messung hoher Temperaturen IIb, 324.
Calorimotor III, 261.
Calorische Maschine IIb, 470.
Camera lucida IIa, 345.
„ obscura IIa, 343, IIb, 653.
Capillarattraction I, 151.
Capillarerscheinungen I, 150.
— Erklärung derselben I, 161.
Capillarröhren I, 150.
— Steighöhe in denselben I, 152, 156.
— Ausfluss durch Capillarröhren I, 369, 385.
Capillarwirkungen, Bewegung durch dieselben I, 160.
Cardan'sche Aufhängung III, 31.
Cardinalpunkte eines optischen Linsensystems IIa, 128.
Cartesianischer Taucher I, 122.
Centralbewegung I, 285.
Centrifugalkraft I, 259.
Centrifugalmaschine I, 290.
Centripetalkraft I, 286.
Chemisches Aequivalent I, 25.
Chemische Energie und Stromwärme der Volta'schen Kette III, 432.
— als Maass der elektromotorischen Kraft III, 437.
— der verschiedenen Elemente III, 439.
Chemische Spannkraft als Form von potentieller Energie IIb, 465.
Chemische Theorie der Elektricitätserzeugung III, 256, 257, 443.
Chemische Verbindung I, 29.
Chemische Vorgänge innerhalb der Volta'schen Kette III, 427.
Chemische Wirkungen des Lichtes IIa, 288.
— verschiedenfarbiger Lichtstrahlen IIa, 293.
Chemische Wirkungen der elektrischen Entladung III, 199.
— des galvanischen Stromes III, 390 bis 408.
Chromatische Polarisation IIa, 543.
Chromatische Tonleiter I, 460.
Chromsäurekette III, 270.
Chronoskop, elektrisches III, 542.
Circulare Polarisation IIa, 607.
— durch totale Reflexion IIa, 619.
— durch Metallreflexion IIa, 622.
— in Quarzplatten IIa, 630, 595.
— in Flüssigkeiten und Dämpfen IIa, 637.
— der Weinsäure und Traubensäure IIa, 653.
Clarinette I, 562.
Clavier I, 564.
Coërcitivkraft III, 9.
Cohäsion I, 34.
— der Flüssigkeiten I, 141.
Cohäsionsdruck I, 146.
Collectivglas IIa, 358.
Collectorplatte III, 151.
Combination, zweckmässige, von galvanischen Elementen III, 304.
Combinationstöne I, 564.
Comma I, 458.
Communicirende Röhren I, 109, 116.
Commutator III, 279, 478.
Comparator I, 510.
Compass III, 31.
Compensationspendel IIb, 30.
Compensationsstreifen IIb, 31.
Compensator IIa, 612, 619, 646.
Complementäre Farben IIa, 145.
Composanten I, 40.
Compressibilität I, 22.
Compression der Flüssigkeiten I, 137.
— der Gase IIb, 246, 263.
— der Gase ohne Wärmeabgabe IIb, 442.
Compressionsapparat von Magnus IIb, 254.
— von Andrews IIb, 256.
— von Natterer IIb, 247.
— von Cailletet IIb, 263.
— von Pictet IIb, 265.
Compressionsmanometer I, 240.
Compressionspumpen I, 235.
Condensation der Dämpfe und Gase IIb, 246.
— der sogenannten permanenten Gase IIb, 263.
Condensationshygrometer IIb, 628.
Condensator (Dampf) IIb, 196, 495.
— (Elektricität) III, 115, 145, 151, 649.
Condensatorpumpe IIb, 496.
Condensorlinsen IIa, 392.

Congelator IIb, 225.
Conjugirte Ebenen IIa, 122.
Conjugirte Punkte bei sphärischen Spiegeln IIa, 50.
— bei Linsen IIa, 114, 119.
Consonanten I, 572.
Constanten galvanischer Rheomotoren III, 347.
Constitution des ausfliessenden Strahles I, 359.
Construction des gebrochenen Strahles in Prismen IIa, 81.
Contactelektricität III, 228.
Contacttheorie III, 254.
Contractio venae I, 360.
Contraction von Flüssigkeitsgemischen I, 131.
Contrastfarben IIa, 336.
Convection, elektrolytische III, 413.
Correction der Thermometerangaben wegen des vorstehenden Fadens IIb, 65.
Correctionsmethoden zur Elimination und Berechnung der Wärmeverluste des Calorimeters während des Versuches IIb, 297.
Correctionsformel für die Endtemperatur bei calorimetrischen Versuchen IIb, 306.
Curven, magnetische III, 24.
— in einaxigen Krystallen IIa, 563.
— in zweiaxigen Krystallen IIa, 581.
— hyperbolische, in Krystallplatten, die parallel mit der Axe geschnitten sind IIa, 593.
— in senkrecht zur Axe geschnittenen Quarzplatten IIa, 636.
Cylindergebläse I, 378.
Cylinderelektrisirmaschine III, 105.
Cylinderinductor III, 680.

D.

Dämpfer, verstellbarer III, 467.
Dämpfung der Schwingungen der Magnete III, 41, 462, 716.
Dampf, Definition IIb, 169, 262.
— Unterschied zwischen Dampf und Gas IIb, 171.
— gesättigter und überhitzter Dampf IIb, 174, 216.
— Spannkraft der Dämpfe IIb, 175, 187.
— Specifisches Gewicht der Dämpfe IIb, 228, 238.
— Condensation der Dämpfe IIb, 246.
— Gesammtwärme des Dampfes IIb, 361.
Dampf. Specifische Wärme der Dämpfe IIb, 371.
Dampfbildung plötzliche IIb, 209.
Dampfdichte IIb, 228.
— Bestimmung derselben bei constantem Dampfgewicht IIb, 229.
— Bestimmung derselben bei constantem Dampfvolum IIb, 233.
— und Moleculargewicht IIb, 237.
— gesättigter Dämpfe IIb, 238.
Dampfelektrisirmaschine III, 118.
Dampferhitzungsapparat von Régnault IIb, 284, 289.
— von Neumann IIb, 290.
— von Pfaundler IIb, 292.
Dampfmaschine IIb, 487.
— Hochdruckmaschine IIb, 487.
— Niederdruckmaschine IIb, 494.
— Berechnung des Effectes IIb, 496.
Dampfregion IIb, 260.
Dampfstrahlpumpe I, 389.
Dampfwärme IIb, 361.
Dasymeter I, 246.
Dauer der Lichtwirkung im Auge IIa, 329.
— des elektrischen Funkens III, 190.
Declination, magnetische III, 28.
— Bestimmung derselben III, 30.
— Variationen und Störungen derselben III, 45.
Declinatorium III, 29.
Densimeter I, 129.
Depolarisation des Lichtes IIa, 624.
Depression durch Capillarwirkung I, 148.
— des Eispunktes IIb, 61.
Destillation IIb, 220.
Diakaustika IIa, 59.
Dialyse der Flüssigkeiten I, 170.
— der Gase I, 366.
Diamagnetismus. Grunderscheinungen III, 745.
— Theorie III, 750, 753.
— der Flammen und Gase III, 754.
— von Flüssigkeiten III, 759.
Diatherman IIb, 552.
Diathermanität, Abhängigkeit von der Dicke der Platten IIb, 556.
— der Gase IIb, 567.
— fester und flüssiger Körper IIb, 551.
Diatonische Tonleiter I, 457.
Dichtigkeit I, 18.
— fester und flüssiger Körper I, 123, 127, 204.
— der Gase IIb, 128.
— der Dämpfe IIb, 228.
— elektrische III, 123, 235.
Dichtigkeitsänderungen in den Knotenpunkten tönender Luftsäulen I, 453.

Dichtigkeitsmaximum des Wassers IIb, 76.
— Bestimmung desselben IIb, 77.
Dichroismus IIa, 658.
Dichroskopische Loupe IIa, 522.
Dielektricitätsconstante III, 178.
Dielektrische Körper III, 178.
„ Polarisation III, 183.
Differentialluftthermometer IIb, 122.
Differenz, psychrometrische IIb, 630.
Differenztöne I, 544.
Diffraction IIa, 396.
Diffusion der Flüssigkeiten I, 163.
— der Gase I, 262.
— freie IIb, 517.
— der Materie IIb, 518.
— des Momentes IIb, 518.
— der Energie IIb, 519.
— des Lichtes IIa, 23.
— der Wärmestrahlen IIb, 551.
Diffusionsanalyse I, 169.
Diffusionscoëfficient IIb, 517.
Diffusionsconstante IIb, 517.
Diffusionsvermögen für Strahlen verschiedener Wärmequellen IIb, 574.
Digestor IIb, 186.
Dilatometer IIb, 47.
Diosmose I, 163.
Disjunctor III, 640.
Dispersion des Lichtes IIa, 138.
— partielle IIa, 167, 182.
— totale IIa, 167.
— anomale IIa, 199.
— Erklärung der Dispersion des Lichtes IIa, 421.
— geneigte IIa, 591.
— gekreuzte IIa, 592.
— horizontale IIa, 592.
— durch Drehung der Polarisationsebene IIa, 595.
— Gesetz derselben IIa, 602.
— der Wärmestrahlen IIb, 559.
Dissectionsmikroskop IIa, 360.
Dissimilirung IIa, 341.
Dissociation IIb, 238, 375, 516.
Dissonanz I, 543.
Distanzmesser IIa, 524.
Doppelbrechende Prismen IIa, 520.
Doppelbrechung des Lichtes in Kalkspath IIa, 500.
— Polarisation durch Doppelbrechung IIa, 510.
— objective Darstellung der Erscheinungen der Doppelbrechung am Kalkspath IIa, 511.
— Erklärung der Doppelbrechung durch die Vibrationstheorie IIa, 516.
— Gesetze der Doppelbrechung in zweiaxigen Krystallen IIa, 529.
— des zusammengedrückten Glases IIa, 539.
Doppelbrechung des Bergkrystalles in der Richtung seiner Axe IIa, 633.
— in geglühten oder gepressten Gläsern IIa, 662.
Doppelgefässluftthermometer IIb, 124.
Doppelspath IIa, 500.
Doppelstrich 3, 13.
Drehung der Figuren von Lissajous I, 512.
— der Polarisationsebene in Quarz IIa, 595.
— Gesetz der Dispersion durch Drehung der Polarisationsebene IIa, 602.
— Erklärung der Drehung der Polarisationsebene in Quarz IIa, 630.
— der Polarisationsebene in Flüssigkeiten und Gasen IIa, 637.
— der Polarisationsebene durch Magnetismus III, 765.
Drehungsmoment, reducirtes III, 67.
Drehungsvermögen, specifisches IIa, 654.
Drehwage III, 54, 123.
Drosselventil IIb, 493.
Druckerhöhung der Gase bei constantem Volum IIb, 98.
Druckpumpe I, 180.
Dunkelkammer IIa, 343.
Dynamide I, 23.
Dynamoelektrische Maschine III, 692.
Dynamoelektrisches Princip III, 692.
Dynamometer, mechanisches I, 89.
— elektrisches, von Weber III, 568.

E.

Echappement I, 385.
Echo I, 424.
Effect der Dampfmaschine IIb, 496.
Effusion IIb, 517.
Ei, elektrisches III, 189.
Einaxige Krystalle IIa, 508.
Einfallsebene IIa, 61.
Einfallsloth IIa, 24, 60.
Einfallswinkel IIa, 15, 60.
Einheit der Länge I, 335, 578.
— „ Zeit I, 578.
— „ Masse I, 582, 583, 585.
— „ Geschwindigkeit I, 579.
— „ Beschleunigung I, 579.
— des Gewichtes I, 581, 580.
— der Kraft I, 580, 586, 581.
— „ lebendigen Kraft I, 584, 587.
— „ Arbeit I, 317, 584, 587.
— des freien Magnetismus III, 72.
— der Elektricitätsmenge III, 205.
— chemische, Jacobi'sche, der Stromstärke III, 286.

Einheit, elektromagnetische, Weber'sche, absolute der Stromstärke III, 584.
— des Leitungswiderstandes nach Siemens III, 315.
— des Leitungswiderstandes nach absolutem Maasse III, 743.
Eintheilung der Naturwissenschaften I, 2.
— der physikalischen Disciplinen I, 5.
Eis, Ausdehnungscoëfficient desselben IIb, 28.
— Specifisches Gewicht desselben IIb, 90.
— Schmelzwärme desselben IIb, 360.
Eisapparate IIb, 223 bis 228, IIb, 655.
Eiscalorimeter von Lavoisier und Laplace IIb, 278.
— von Bunsen IIb, 280.
Eispunkt des Thermometers IIb, 5, 59.
— Depression desselben IIb, 61.
— maximal, deprimirter IIb, 61.
— zeitiger IIb, 62.
Eisen, Passivität desselben III, 365.
Elasticität I, 81.
— des Aethers in einaxigen Krystallen IIa, 516.
— in zweiaxigen Krystallen IIa, 529.
— fester Körper I, 82.
— der Flüssigkeiten I, 136.
— der Gase I, 173.
— Torsionselasticität I, 90.
Elasticitätscoëfficient I, 84.
— von Metallen I, 84.
— von Glassorten I, 85.
— von Hölzern I, 86.
Elasticitätsgränze I, 85.
— von Metallen I, 85.
Elasticitätsmodulus I, 84.
— von Metallen I, 84.
— von Glassorten I, 85,
— von Hölzern I, 86, 87.
Elasticitätsaxen in zweiaxigen Krystallen IIa, 529.
Elasticitätsoberfläche in einaxigen Krystallen IIa, 516.
Elektricität III, 83.
— Leiter und Isolatoren derselben III, 85.
— positive und negative III, 86.
— Erzeugung derselben durch Reibung III, 88.
— Vorstellungen über das Wesen derselben III, 87.
— Mittheilung derselben III, 90.
— Verlust der Elektricität III, 127.
— Sitz der Elektricität III, 136.
— Anordnung auf der Oberfläche isolirter Leiter III, 139.
Elektricität, Ausströmen durch Spitzen III, 142.
— gebundene Elektricität III, 144.
— Dichtigkeit der Elektricität III, 123, 158.
— Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben III, 192.
— atmosphärische III, 210.
— während der Gewitter III, 211.
— Entladung der Elektricität III, 147, 158, 196.
— Physiologische Wirkungen derselben III, 161.
— Mechanische Wirkungen derselben III, 162.
— Thermische Wirkungen derselben III, 167.
— Anwendung in der Sprengtechnik III, 173.
— Lichtwirkungen III, 184, 188, 195, 197.
— Magnetische Wirkungen III, 198.
— Chemische Wirkungen III, 199.
Elektrische Anziehung und Abstossung III, 86.
— Gesetze derselben III, 123.
Elektrischer Funke III, 185.
Elektrische Influenz III, 91.
Elektrisches Licht III, 188, 380.
Elektrische Wirkung der Spitzen und Flammen III, 141.
Elektrischer Strom, Entstehung desselben III, 252.
— Wirkungen desselben III, 254.
— Elektrische Fische III, 784.
Elektrisirmaschine von Winter III, 101.
— von Grüel III, 105.
— Versuch mit der Elektrisirmaschine III, 107.
— Dampfelektrisirmaschine III, 118.
— Influenzelektrisirmaschine III, 110.
Elektroden III, 391.
Elektrodynamik III, 557.
Elektrodynamisches Gesetz III, 564.
Elektrodynamische Versuche III, 566.
Elektrodynamometer III, 566.
Elektrolyse III, 391.
— von Wasser III, 391.
— der Alkalien III, 396.
— geschmolzener Chlormetalle III, 398.
— gelöster Salze III, 400.
— Experimente darüber III, 405.
— Theorie derselben III, 423.
— Praktische Anwendungen der Elektrolyse III, 419.
Elektrolyt III, 391.
Elektrolytisches Gesetz III, 409.
— Scheinbare Ausnahmen davon III, 412.

Elektromagnet III, 475.
— Anziehung und Tragkraft III, 489.
Elektrometer III, 95.
— Quadrantenelektrometer von Henley III, 106.
— Quadrantenelektrometer von Thomson III, 133.
— Hygroelektrometer III, 107.
— von Dellmann III, 129.
— von Kohlrausch III, 130.
— von Oerstedt III, 133.
— von Peltier III, 133.
— Sinuselektrometer III, 133.
— Säulenelektrometer III, 251.
Elektromotorische Kraft III, 235.
— Gesetze darüber III, 238.
— bei Berührung von festen mit flüssigen Leitern III, 242.
— bei Berührung von festen Leitern unter sich III, 239.
— Ursprung und Sitz derselben III, 254.
— Vergleichung der elektromotorischen Kraft mittelst der Compensationsmethoden III, 351.
— Verhältniss der elektromotorischen Kraft zweier verschiedener Elemente III, 349.
— Messung der elektromotorischen Kraft einiger Elemente zu der des Daniell'schen III, 354.
— des Polarisationsstromes III, 360.
— des Daniell'schen Elementes III, 438.
— verschiedener Elemente III, 439.
— der Metallcombinationen III, 445.
— Proportionalität zur chemischen Energie III, 438.
Elektrophor III, 98.
Elektroskop III, 83.
— Goldblattelektroskop III, 95.
— Strohhalmelektroskop III, 95.
— Kugelelektroskop III, 96.
— Bifilarelektroskop III, 98.
Element, galvanisches III, 259.
— Ballonelement III, 265.
— Daniell'sches III, 263.
— Meidinger's III, 265.
— von Siemens' III, 265.
— Minotto's III, 265.
— von Grove III, 266.
— von Bunsen III, 366.
— Chromsäureelement III, 270.
— von Smee III, 274.
— von Leclanché III, 275.
Emanationstheorie IIa, 394.
Emissionsspectra IIa, 227.
— der Metalle IIa, 233.
— nicht metallischer Elemente IIa, 237.
Emissionsspectra, Allgemeines über Emissionsspectra IIa, 240.
Emissionstheorie IIa, 394.
— des Radiometers IIb, 590.
Emissionsvermögen IIa, 243.
— Verhältniss zum Absorptionsvermögen IIa, 243.
— fester Körper für Wärme IIb, 548.
— der Gase für Wärme IIb, 580.
Endosmose von Flüssigkeiten I, 162.
— Theorie derselben I, 167.
— der Gase I, 263.
— elektrische III, 418.
Endosmotisches Aequivalent I, 165.
Energie, Begriff derselben IIb, 397, 463.
— chemische, des Lichtes IIa, 289.
— Erhaltung der Energie IIb, 397, 467.
— Hauptformen der Energie IIb, 464.
— Quellen derselben IIb, 467.
— Diffusion der Energie IIb, 519.
— die elektrische Spannung als Form der Energie III, 201.
— Proportionalität der chemischen Energie zur elektromotorischen Kraft III, 438.
Energiedifferenz IIb, 398.
— Abhängigkeit von der Temperatur IIb, 407.
— in Beziehung zur Potentialdifferenz II, 208.
Entlader III, 147.
Entladung der Elektricität III, 147, 158, 196.
— allmälige, der Franklin'schen Tafel III, 146.
— der Lane'schen Flasche als Maass der Ladung III, 157.
— Physiologische Wirkungen III, 161.
— mechanische Wirkungen III, 162.
— thermische „ III, 167.
— Anwendung in der Sprengtechnik III, 173.
— Lichtwirkungen III, 184, 188, 195, 197.
— magnetische Wirkungen III, 198.
— chemische „ III, 199.
— Dauer der Entladung III, 190.
— Entladungsfunke III, 184.
Entropie, Begriff derselben IIb, 468.
— Satz über die Entropie des Weltalls IIb, 470.
Erdinductor III, 723.
Erdmagnetismus, richtende Kraft desselben III, 34.
— Einfluss desselben auf weiches Eisen III, 49.
— Intensität desselben III, 47.
— Bestimmung der Intensität nach absolutem Maasse III, 67.

Erdmagnetismus, Bestimmung desselben mit dem magnetischen Theodoliten III, 73.
— Variationen der Intensität des Erdmagnetismus III, 76.
— Magnetischer Zustand der Erde III, 79.
— Nordpol des Erdmagnetismus III, 81.
— Aequator des Erdmagnetismus III, 81.
Erdplatte III, 532.
Erhaltung der Energie IIb, 397.
Erkalten, Gesetz des Erkaltens IIb, 585.
Erkaltungsgeschwindigkeit IIb, 586.
Erkaltungsmethode zur Bestimmung specifischer Wärmen IIb, 316.
Erniedrigungscoëfficient von Salzlösungen IIb, 157.
Erstarrungspunkt IIb, 133.
— Bestimmung desselben IIb, 140.
— Abhängigkeit vom Drucke IIb, 148.
Erstarrungswärme IIb, 161.
Erweichungswärme IIb, 161.
Excentrische Scheiben bei Dampfmaschinen IIb, 492.
Expansion des Dampfes, Anwendung bei Dampfmaschinen IIb, 498.
Expansionskräfte I, 34.
Expansionskraft der Gase I, 173.
Exstinctionscoëfficient IIa, 258.
Extrastrom III, 631.
— Nachweis desselben III, 634.

F.

Fagot I, 562.
Fall, freier I, 269.
„ auf der schiefen Ebene I, 282.
Fallgesetze I, 269.
Fallmaschine I, 273.
Farad als Einheit der elektrischen Capacität III, 743.
Farben, complementäre IIa, 145.
— Contrastfarben IIa, 336.
— subjective IIa, 333.
— dünner Blättchen IIa, 472.
— „ „ im durchgelassenen Lichte IIa, 476.
— empfindliche Farbe IIa, 641.
— der Basis in Krystallen IIa, 659.
— Farbe des Himmels IIb, 650.
Farbenempfindungen IIa, 339.
Farbenerscheinungen in senkrecht zur Axe geschnittenen Quarzplatten IIa, 595.
— Erklärung derselben IIa, 630.
— Nachahmung derselben IIa, 634.
Farbenerscheinungen in geglühten und gepressten Gläsern IIa, 662.
Farbenglas IIa, 470.
Farbenkreisel IIa, 143.
Farbenringe in einaxigen Krystallen IIa, 563.
— Erklärung derselben IIa, 574.
— in zweiaxigen Krystallen IIa, 581.
— in senkrecht zur Axe geschnittenen Quarzplatten IIa, 636.
— abnormale Erscheinung der Farbenringe einaxiger Krystalle IIa, 580.
Farbenscala IIa, 337.
Farbentheorie IIa, 339.
Farbenzerstreuung IIa, 138.
Farbige Nebenbilder IIa, 337.
„ Schatten IIa, 337.
Federwage I, 86.
Federwolken IIb, 638.
Feld, elektrisches III, 209.
Feldstecher IIa, 370.
Fehlerquellen des Quecksilberthermometers IIb, 53.
Fernrohr, astronomisches IIa, 371.
— holländisches IIa, 368.
— terrestrisches IIa, 374.
— Geschichtliches über das Fernrohr IIa, 375.
Festigkeit I, 91.
Festigkeitsmodulus I, 91.
— von Metallen und Hölzern I, 92.
Feuchtigkeit IIb, 627.
— der Luft in verschiedenen Gegenden IIb, 635.
Feuchtigkeitsgrad IIb, 628.
Feuerkugeln IIb, 652.
Feuerspritze I, 244.
Feuerzeug, pneumatisches IIb, 426.
— der Dacota-Indianer IIb, 423.
Figuren von Lissajous I, 500.
— Darstellung derselben I, 507.
Flageolet I, 561.
Flammen, manometrische I, 450.
— singende I, 439.
— elektrische Wirkung derselben III, 143.
Flammenbilder I, 443.
Flammenspectra IIa, 223.
Flasche, Leydener Flasche III, 148.
— Lane'sche Flasche III, 157.
Flaschenelement III, 272.
Flaschenrückstand III, 183.
Flaschenzug I, 45.
Flieger I, 396.
Fliehkraft I, 289.
Flöte I, 561.
Flugrad, elektrisches III, 142.
Fluidum, magnetisches III, 18.
— elektrisches III, 87.

Fluorescenz II a, 263.
— Beziehung zur Phosphorescenz II a, 287.
— Absorption Fluorescenz erregenden Lichtes II a, 273.
Fluorescenzfarben, prismatische Zerlegung derselben II a, 270.
Fluorescenzspectrum des elektrischen Lichtes II a, 277.
Fluorescirende Körper im farbigen Lichte II a, 265.
— Untersuchung fluorescirender Körper im prismatischen Spectrum II a, 267.
Flüssigkeit I, 23.
Flüssigkeitsregion II b, 260.
Flüssigkeitswärme II b, 361.
Focaldistanz II a, 48.
Focus II a, 49.
Foehn II b, 622.
Folgepunkte, magnetische III, 12.
Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten I, 106.
— des Schalles I, 409.
— des Lichtes, geradlinige II a, 4.
— Folgen derselben II a, 10.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit d. Schalles in Luft I, 417.
— des Schalles in festen und flüssigen Körpern I, 421.
— Abhängigkeit derselben von der Elasticität des Mittels I, 420.
— des Lichtes II a, 4.
— Aenderung derselben beim Uebergang in ein Medium verschiedener Dichte II a, 423.
— des Lichtes in Luft und Wasser II a, 423.
— des Lichtes in doppelt brechenden Krystallen II a, 505.
— der Strahlen in zweiaxigen Krystallen II a, 533.
— der Wellen in zweiaxigen Krystallen II a, 533.
— der Elektricität III, 192.
Fortschreitende Wellen I, 403.
Franklin'sche Tafel III, 145.
Freie Axen I, 298.
„ Oberfläche I, 111.
Frictionsrollen I, 347.
Fundamentalpunkte des Thermometers II b, 4.
— Bestimmung derselben II b, 6, 59.
Fundamentalversuch von Volta III, 228.
— Chemische Theorie desselben III, 443.
Funke, elektrischer III, 90, 184.
— Dauer desselben III, 190.
— galvanischer III, 379.
Funkenband III, 195.
Funkeninductor III, 645.
Funkenmagnet III, 673.
Funkenmikrometer III, 158.
Funkenspectra II a, 223.
Fuss der Pfeifen I, 447.

G.

Galvanismus, Entdeckung desselben III, 225.
— Theorien desselben III, 254, 440, 443.
Galvanische Elemente III, 259 bis 276.
Galvanischer Funke III, 379.
Galvanische Polarisation III, 262.
Galvanischer Strom III, 252.
— Wärmeentwickelung durch denselben III, 369, 375.
— Chemische Wirkungen desselben III, 390, 396, 398, 400.
— Lichtwirkungen III, 375, 379, 380.
— Intensität desselben III, 281, 287, 293, 295.
Galvanographie III, 421.
Galvanometer III, 457.
Galvanoplastik III, 419.
Galvanoskop III, 451.
Gang, todter des Thermometers II b, 67.
Gase I, 24.
— permanente II b, 104.
— vollkommene II b, 104.
— Unterschied zwischen Dampf und Gas II b, 171, 262.
Gasbatterie III, 364.
Gaskraftmaschine II b, 475.
Gasometer I, 374.
Gasregion II b, 260.
Gastheorie, kinetische II b, 501.
— Grundgleichung der kinetischen Gastheorie II b, 501.
— Folgerungen aus derselben II b, 511.
Gasvolum, Reduction desselben auf den Atmosphärendruck I, 203.
— Reduction desselben auf den Normalzustand II b, 124.
Gaszustand, permanenter II b, 260.
Gebläse I, 377.
Gefälle der Elektricität III, 327.
Gefässbarometer I, 187.
Gefriercurve von Lösungen II b, 154.
Gefriertemperatur von Lösungen II b, 153.
Gefrierpunkt des Thermometers II b, 6, 59, 61.
Geissler'sche Röhren III, 189.
Gehörnerv I, 576.

Gehörsorgan I, 572.
Geräusche I, 415.
Geschwindigkeit I, 268.
— eines frei fallenden Körpers I, 270.
— bei einer oscillirenden Bewegung I, 312.
— des Ausfliessens einer Flüssigkeit I, 353.
— des Ausströmens von Gasen I, 382.
— des Schalles in Luft I, 417.
— des Schalles in festen und flüssigen Körpern I, 421.
— Abhängigkeit derselben von der Elasticität des Mittels I, 420.
— Einheit der Geschwindigkeit I, 579.
— des Lichtes IIa, 4.
— „ „ in Luft und Wasser IIa, 423.
— des Lichtes in doppelt brechenden Krystallen IIa, 505.
— der Strahlen in zweiaxigen Krystallen IIa, 533.
— der Wellen in zweiaxigen Krystallen IIa, 533.
— der Elektricität III, 192.
— der Gasmolecüle IIb, 513.
Gesammtwärme des Dampfes IIb, 361.
Gesichtsempfindungen IIa, 311.
Gesichtsorgane IIa, 298.
Gesichtswinkel IIa, 317.
Gewicht I, 11, 66.
— Einheit desselben I, 580, 581.
— specifisches Gewicht I, 13.
— specifisches Gewicht einiger Körper I, 16.
— Bestimmung des specifischen Gewichtes I, 123, 126, 127.
— specifisches Gewicht des Wassers IIb, 82.
— specifisches, des Eises IIb, 90.
— specifisches, der Gase IIb, 128.
— specifisches, der Dämpfe IIb, 228, 235, 338.
Gewichtsthermometer IIb, 49, 52.
— Gewichtsverlust, scheinbarer I, 119.
Gitterspectra IIa, 447, 454, 220.
Glasharmonika I, 497.
Glasmikrometer IIa, 362.
Glasplattensäule IIa, 491.
Gleichgewicht I, 69.
— schwimmender Körper I, 122.
Gleichgewichtsfiguren von Flüssigkeiten I, 143.
Gleitende Reibung I, 342.
Glimmlicht III, 662.
Glocken, Schwingungen derselben I, 493.
Glockenmagnet III, 467.
Glockentöne I, 564.
Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom III, 375.
— Anwendung davon III, 378.
Glühlichtlampen III, 379.
Goldblattelektroskop III, 95.
Golfstrom IIb, 610.
Goniometer IIa, 30.
Gramm I, 11.
Gränzwinkel IIa, 69.
Gränzen der Hörbarkeit I, 469.
Gränzgehalt von Lösungen IIb, 155.
Grundgleichung der kinetischen Gastheorie IIb, 501.
Grundton der Pfeifen I, 448.
Gyroskop I, 299.
Gyrotrop III, 279.

H.

Haarhygrometer IIb, 633.
Haarröhrchen I, 150, 158.
Hagel IIb, 643.
Hahn von Babinet I, 222.
— von Grassmann I, 224.
— von Senguerd I, 220.
— von Daniell IIa, 389.
Hahnluftpumpe I, 222.
Halblinsen von Billet IIa, 413.
Handluftpumpe I, 213.
Harmonische Töne I, 456.
Haspel I, 56.
Hauchbilder I, 225.
Hauptbrennpunkt von Linsen IIa, 127.
— bei Spiegeln IIa, 48.
Hauptebene IIa, 128.
Hauptincidenz IIa, 623.
Hauptpunkte von Linsen IIa, 127.
Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie IIb, 460.
Hauptschnitt von Krystallen IIa, 511.
Hauptzerstreuungsweite von Convexspiegeln IIa, 56.
Hebel I, 49.
Hebelpyrometer IIb, 14.
Heber I, 176.
Heberbarometer I, 191.
Hebermanometer I, 238.
Heissluftmaschine IIb, 470.
Heliostat IIa, 37.
Hemiedrie I, 102.
Hemmung bei Uhren I, 335.
Heronsball I, 243.
Heronsbrunnen I, 243.
Hochdruckmaschine IIb, 487.
Höfe des Mondes und der Sonne IIb, 648.
Hörbarkeit, Gränzen derselben I, 469.
Hörrohr I, 426.

Hohlspiegel IIa, 46.
Hohlprisma von Silbermann IIa, 57.
— „ Duboscq IIa, 79.
Homogenes Licht IIa, 138.
Homophon I, 576.
Horn I, 562.
Horopterfläche IIa, 316.
Huyghens'sches Princip IIa, 416.
Hydraulische Presse I, 107.
Hydrostatische Wage I, 124.
Hygroskopische Körper I, 255.
Hygrometer von Daniell IIb, 628.
— von Régnault IIb, 629.
— von Edelmann IIb, 631.
— von Matern IIb, 633.
— Haarhygrometer IIb, 633.
Hyperbolische Curven in Krystallplatten IIa, 590, 593.
Hypermetropie IIa, 308.
Hypomochlion I, 51.
Hypsometer IIb, 194.

J.

Jahreszeiten IIb, 597.

I.

Idio-elektrische Körper III, 84.
Illuminator IIa, 647.
Immersionsmikroskop IIa, 362.
Inclination, magnetische III, 32.
— Variationen und Störungen derselben III, 45.
— Bestimmung der Inclination III, 49.
Inclinationsbussole III, 33.
Indinationsnadel III, 32.
Inclinatorium III, 33.
Indifferente Zone von Magneten III, 4.
Induction III, 622.
— durch Magnete III, 635.
— „ Erdmagnetismus III, 723.
— Theorie von Weber III, 737.
Inductionsapparate, physiologische III, 627.
— magneto-elektrische III, 671.
Inductionsfunke in verdünnten Gasen III, 657.
Inductionsinclinatorium III, 725.
Inductionsspirale III, 623.
Inductionsströme durch Reibungselektricität III, 629.
— Intensität und elektromotorische Kraft derselben III, 639.
— höherer Ordnung III, 732.
Inflexion IIa, 396.
Influenz, magnetische III, 6.
— elektrische III, 91.
Influenzelektricität III, 144.
Influenzelektrisirmaschine III, 110.
Injector I, 389.
Intensität des Lichtes IIa, 13.
Intensität des Schalles I, 416.
— des Erdmagnetismus III, 47.
— Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maass III, 67.
— Bestimmung derselben mit dem magnetischen Theodolit III, 73.
— Variationen der Intensität des Erdmagnetismus III, 76.
— der elektrischen Anziehung und Abstossung III, 123.
Intensitätscurve der Beugungsfigur einer einfachen Spalte IIa, 445.
— der thermischen Wirkungen verschiedener Spectra IIb, 562.
Interferenz isochroner Schallwellen I, 534.
— des Lichtes IIa, 397, 415.
— polarisirter Lichtstrahlen IIa, 542.
— der Wärmestrahlen IIb, 584.
Interferenzerscheinungen an dünnen Blättchen IIa, 464.
— an dicken Blättchen IIa, 478.
— im Spectrum IIa, 556.
Interferenzprisma IIa, 413.
Interferenzröhren I, 535.
Interferenzspectrumplatten IIa, 462.
Interferenzspiegel IIa, 399.
— Versuche damit IIa, 397.
Interferenzstreifen IIa, 397, 550.
— Anwendung derselben IIa, 560.
Interferentialrefractor IIa, 481.
Interruptor von Foucault III, 648.
— von Stöhrer III, 651.
Intervalle in der Musik I, 456.
Inversor III, 279.
Ionen III, 391.
— Wanderung der Ionen zwischen den Polplatten III, 414.
Irradiation IIa, 327.
Irrlicht IIb, 651.
Isochimenen IIb, 608.
Isoclinen III, 79.
Isodynamen III, 79.
Isogonen III, 79.
Isolatoren der Elektricität III, 85.
Isolirschemel III, 108.
Isotheren IIb, 608.
Isothermen IIb, 108.
— der Erde IIb, 605.
— Ursache der Biegung der Isothermen der Erde IIb, 609.
Isothermische Curven IIb, 108, 258, 443.

K.

Kaleidophon I, 498.
Kaleidoskop IIa, 30.
Kalkspath, Krystallform IIa, 502.
— Doppelbrechung IIa, 500, 503.
Kalkspathprisma, achromatisches IIa, 521.
Kalibrirung des Thermometers IIb, 55.
Kälteerzeugung durch Verdampfung IIb, 222.
Kältemischungen IIb, 163.
— aus Wasser und Salzen IIb, 410.
— aus Schwefelsäure und Schnee IIb, 400.
Karten, magnetische, der Erde III, 79.
Katakaustica IIa, 59.
Kathetometer IIb, 42.
Kathode III, 391.
Kation III, 391.
Kaustische Fläche IIa, 59.
Kehlkopf I, 566.
Keil, 65.
Kette, Volta'sche III, 245.
— verschiedene Formen derselben III, 259.
— constante, im Allgemeinen III, 262.
— Daniell'sche III, 263.
— von Buff III, 264.
— „ Meidinger III, 265.
— „ Siemens III, 265.
— „ Minotte III, 265.
— „ Grove III, 266.
— „ Bunsen III, 266.
— Chromsäurekette III, 270.
— von Smee III, 274.
— „ von Leclanché III, 275.
— „ von Pincus III, 276.
— „ Warren de la Rue III, 276.
Kilogramm I, 580, 585.
Kinetische Gastheorie IIb, 501.
— Grundgleichung derselben IIb, 501.
— Folgerungen daraus IIb, 511.
Klang I, 415.
Klangfarbe I, 416, 546.
— verschiedener musikalischer Instrumente I, 563.
— der menschlichen Stimme I, 570.
Klangfiguren I, 487.
Klima, Land- und Seeklima IIb, 608.
Knotenfläche I, 494.
Knotenlinie I, 487.
— Verrückung derselben I, 492.
Knotenpunkte schwingender Saiten I, 477.
— transversal schwingender Stäbe I, 496.
Knotenpunkte, optische, bei Linsen IIa, 128.
— des Auges IIa, 303.
Kohlenlicht, elektrisches III, 381.
— Intensität desselben III, 383.
— Regulatoren für dasselbe III, 384.
Kohlensäure, Verhalten bei Compression IIb, 257.
— Entwickelungsapparat für Kohlensäure IIb, 250.
Kohlensäureschnee IIb, 250.
Kometen, Spectrum derselben IIa, 254.
Kraft I, 34.
— Einheit derselben I, 580, 581, 586.
— brechende IIa, 93.
— brechende, des Auges IIa, 308.
— elektromotorische III, 235.
— lebendige I, 313.
— lebendige, der Wassergefälle I, 371.
— Arbeit einer Kraft I, 317.
Kräfteparallelogramm I, 39.
Kreisel I, 298.
Kreisprocess an vollkommenen Gasen IIb, 450.
— Umkehrung desselben IIb, 454.
Kreisstrich, magnetischer III, 13.
Kritische Temperatur IIb, 172, 259.
Kryohydrate IIb, 157.
Kryophor IIb, 224.
Krystalle, einaxige IIa, 508.
— zweiaxige IIa, 527.
— Bearbeitung derselben zur Doppelbrechung IIa, 578.
Krystallisation I, 94.
Krystalloidsubstanzen I, 170.
Krystallsysteme I, 96.
Krystallisationswärme IIb, 163.
Kühler von Liebig IIb, 222.
Kugelelektroskop III, 96.
Kupfervoltameter III, 411.
Kurzsichtigkeit IIa, 308.

L.

Labialpfeifen I, 447, 529.
Labyrinth I, 572.
Ladung eines Elektroskops III, 96.
— Sitz der elektrischen Ladung III, 137.
— Anordnung derselben auf isolirten Leitern III, 139.
Ladungsapparat, elektrischer III, 145.
Ladungsgränze eines elektrischen Ansammlungsapparates III, 155.
Ladungssäule III, 357.
Lané'sche Maassflasche III, 157.

Länge, reducirte, des Leitungswiderstandes III, 327.
— des Secundenpendels I, 327.
— reducirte, eines zusammengesetzten Pendels I, 329.
— Längenmaass, Einheit desselben I, 335, 578.
Längsschwingungen I, 411, 519.
Laterna magica IIa, 385.
— von Duboscq IIa, 387.
Lebendige Kraft I, 313.
— der Wassergefälle I, 371.
— Verlust beim Stoss I, 338.
Leidenfrost'sches Phänomen IIb, 208.
Leiter der Elektricität III, 84.
Leitung der Wärme IIb, 525.
— in Krystallen IIb, 537.
— in tropfbar flüssigen Körpern IIb, 538.
Leitungsvermögen, inneres für Wärme IIb, 528.
— äusseres für Wärme IIb, 530.
— Maass desselben für Wärme IIb, 530.
— elektrisches III, 311.
— specifisches, gelöster Substanzen III, 343.
— Temperaturcoëfficient desselben III, 346.
— des Wassers für den galvanischen Strom III, 394.
— Maximum des Leitungsvermögens von Lösungen III, 346.
Leitungswiderstand linearer Stromleiter III, 298.
— reducirter III, 329.
— specifischer III, 309.
— specifischer, verschiedener Metalle III, 310.
— von Metalllegirungen III, 311.
— wesentlicher III, 300.
— Einfluss der Temperatur auf den
— Leitungswiderstand der Metalle III, 314.
— Einheit desselben III, 315.
— Bestimmung desselben nach der Substitutionsmethode III, 321.
— Bestimmung desselben mit der Wheatstone'schen Brücke III, 338.
— der Flüssigkeiten III, 340.
— Bestimmung des wesentlichen, eines Elementes III, 349.
Legirungen, Schmelzpunkte IIb, 146, 147.
Leydener Flasche III, 148.
— Schlagweite derselben III, 158.
Licht IIa, 3.
— Geschwindigkeit desselben IIa, 4.
Licht, Aberration desselben IIa, 5.
— Gewinnung desselben für die Spectralanalyse IIa, 220.
— elektrisches III, 375, 380.
— Intensität desselben III, 383.
— Regulatoren für dasselbe III, 384.
— elektrisches, im verdünnten Raume III, 188.
— Drummond'sches IIa, 389.
— Glimmlicht an dem negativen Pole einer Influenzmaschine III, 114.
Lichtäther IIa, 3.
Lichtbilder IIa, 291.
Lichtbogen, galvanischer III, 380.
— Lichtstärke desselben III, 383.
Lichtmühle IIb, 589.
Lichtstärke IIa, 13, 404.
— des galvanischen Lichtbogens IIa, 303.
Lichtstrahlen IIa, 4, 420.
— Intensität derselben IIa, 404.
Lichtwellen IIa, 396, 401.
Lichtwirkungen, thermische IIa, 262, IIb, 560.
— Chemische IIa, 262, 288.
— Ungleichheit der chemischen Wirkungen verschiedenfarbiger Strahlen IIa, 293.
Lichtenberg'sche Figuren III, 197.
Linien, Fraunhofer'sche IIa, 148.
— relative Lage derselben in Spectren verschiedener Prismen IIa, 179.
— Talbot'sche IIa, 559.
— Anwendung derselben IIa, 560.
Linienbatterie III, 534.
Linsen, sphärische IIa, 100.
— achromatische IIa, 194.
Linsenbilder IIa.
Linsencombinationen IIa, 131.
Lippenpfeifen I, 447, 529.
Localbatterie III, 535.
Longitudinalschwingungen I, 411.
— der Saiten und Stäbe I, 519.
Lösungen, gesättigte, ungesättigte, übersättigte IIb, 153.
— Gefrier- und Sättigungscurve der Lösungen IIb, 154.
Lösungstemperatur IIb, 153.
Lösungswärme IIb, 163, 410.
— Bestimmung derselben IIb, 393.
Loupen IIa, 348.
— Cylinderloupe IIa, 350.
Luftballon I, 246.
— Steigkraft desselben I, 249.
Luftdruck I, 174.
— Messung desselben I, 181.
— Grösse desselben bei verschiedenem Barometerstande I, 196.
— Wirkung desselben auf den menschlichen Körper I, 96.

Luftdruckthermometer IIb, 110.
Luftperspective IIa, 313.
Luftpumpe I, 213,
— Handluftpumpe I, 213.
— Zweistieflige Ventilluftpumpe I, 216.
— Zweistieflige Hahnluftpumpe I, 222.
— Einstiefelig doppelt wirkende Luftpumpe I, 225.
— Versuche mit der Luftpumpe I, 227.
— Quecksilberluftpumpe I, 229.
— Quecksilberluftpumpe von Sprengel I, 364.
Luftröhre I, 566.
Luftsäulen, tönende I, 428.
— Schwingungsknoten in denselben I, 434, 451.
Luftthermometer IIb, 109.
— von Rudberg IIb, 111.
— „ Magnus IIb, 112.
— „ Régnault IIb, 113.
— „ Jolly IIb, 115.
— „ Pfaundler IIb, 118.
— Differentialluftthermometer von Leslie IIb, 122.
— Differentialluftthermometer von Rumford IIb, 122.
— Differentialluftthermometer von Pfaundler IIb, 123.
— Doppelgefässluftthermometer IIb, 124.
Lufttemperatur, Variationen derselben IIb, 596.
— Messung derselben IIb, 600.
Luftwellen I, 426.
— in gedeckten Pfeifen I, 428.
— in offenen Pfeifen I, 437.
Lufthülle der Erde IIb, 614.
Luftwiderstand I, 390.
— Anwendung desselben I, 396.

M.

Maass der Temperatur IIb, 50.
— calorimetrisches, der Wärmeleitungsfähigkeit IIb, 530.
— thermometrisches, der Wärmeleitungsfähigkeit IIb, 530.
— der Wärmemengen IIb, 272.
— absolutes, des Erdmagnetismus III, 72.
— der Ladung einer Leydener Flasche I, 57.
— der Stromstärke III, 286, 293, 410.
— des Leitungswiderstandes III, 315.
Maass der elektromotorischen Kraft III, 438.
Maasssysteme I, 577.
— irdisches I, 580.
— absolutes I, 584.
— absolutes magnetisches und elektrisches III, 739.
Maassflasche, Lané'sche III, 157.
— Anwendung derselben III, 158.
Magdeburger Halbkugeln I, 227.
Magnete, natürliche, künstliche III, 3.
— permanente III, 9.
— Herstellung permanenter III, 10.
— Hufeisenmagnete III, 14.
— Tragkraft derselben III, 16.
Magneteisenstein III, 3, 487.
Magnetische Abstossung und Anziehung III, 4.
— Gesetze derselben III, 56.
— Aequator III, 28.
— Armaturen III, 13.
— Axe 6.
— Curven III, 24, 79.
— Declination III, 28.
— Fluida III, 18.
— Inclination III, 32.
— Bestimmung derselben III, 49.
— Influenz III, 6.
— Karten der Erde III, 79.
— Kräfte, Messung derselben III, 53.
— Magazin III, 16.
— Meridian III, 28.
— Mittellinie III, 4.
— Moment eines Kreisstroms III, 582.
— Pole III, 4.
— Lage derselben III, 22.
— Theodolit III, 41.
— Wirkungen der elektrischen Entladung III, 198.
Magnetismus, Wesen desselben III, 17.
— Vertheilung desselben in Magnetstäben III, 19.
— Einfluss der Wärme auf denselben III, 27.
— Erdmagnetismus, richtende Kraft desselben III, 34.
— Intensität des Erdmagnetismus III, 47.
— Bestimmung desselben nach absolutem Maasse III, 67.
— Bestimmung desselben mit dem magnetischen Theodolit III, 73.
— Variationen der Intensität III, 76.
Magnetisiren durch Influenz III, 6.
— durch Streichen III, 10.
— durch Strom III, 474.
Magnetnadel III, 4.
— Ablenkung durch den Strom III, 448.

Magnetnadel, astatische III, 35.
Magnetometer III, 36.
Manipulator III, 529.
Manometer I, 236, 241.
Manometrische Flammen I, 450.
Mariotte'sches Gesetz I, 199.
— Abweichungen davon I, 209.
— potenzirtes IIb, 445.
Masse I, 7, 11.
— Einheit der Masse I, 582, 583, 585.
Materie I, 7.
— Diffusion der Materie IIb, 518.
Maximum der Stromstärke III, 305.
Maximumthermometer von Geissler IIb, 76.
— von Magnus IIb, 74.
— von Walferdin IIb, 75.
— von Casella IIb, 75.
— und Minimumthermometer von Rutherford IIb, 73.
Mechanisches Aequivalent der Wärme IIb, 428.
— Bestimmung durch Reibungsversuche IIb, 428.
— Bestimmung durch Stossversuche IIb, 432.
— Bestimmung durch Compression der Gase IIb, 435.
— Ableitung aus der Ausdehnung der Gase IIb, 438.
— Berechnung aus den specifischen Wärmen der Gase IIb, 440.
— Mechanische Wirkungen der elektrischen Entladung III, 162.
Megaskop IIa, 392.
Meniscus I, 155.
Meridian, magnetischer III, 28.
Metacentrum I, 123.
Metallmanometer I, 241.
Metallthermometer IIb, 32, 33.
Metastatisches Thermometer IIb, 72.
Meteorologie, Uebersicht der Erscheinungen, Aufgaben derselben IIb, 592.
Meteorsteine IIb, 652.
Meter I, 336.
Meterkilogramm I, 317.
Methoden der physikalischen Disciplinen I, 2.
Mikrometer IIa, 524.
Mikrometerschraube I, 64.
Mikrophon von Lüdtge III, 714.
— von Hughes III, 716.
— von Weinhold III, 715.
Mikroskop, achromatisches IIa, 356
— binoculares IIa, 365.
— Dissectionsmikroskop IIa, 360.
— einfaches IIa, 348.
— Immersionsmikroskop IIa, 364.
— pankratisches IIa, 360.
— Sonnenmikroskop IIa, 351.
— Spiegelmikroskop IIa, 357.
Mikroskop, zusammengesetztes IIa, 353.
— Prüfung des Mikroskopes IIa, 362.
— Polarisationsmikroskop IIa, 566.
— Spectralmikroskop IIa, 205.
Minimum der Ablenkung durch Prisma IIa, 84, 671.
Minimumthermometer IIb, 75.
Mischungen, Kältemischungen IIb, 163, 410.
— specifische Wärme von Mischungen IIb, 334.
Mischungsmethode zur Bestimmung der specifischen Wärme IIb, 286.
Mischungswärme IIb, 391, 400.
Missweisung III, 29.
Mittheilung der Schallschwingungen zwischen festen, flüssigen und luftförmigen Körpern I, 531.
Mittellinien, optische in zweiaxigen Krystallen IIa, 529.
— magnetische III, 4.
Mittönen I, 427.
Mixoskop IIa, 148.
Modificationen normaler Temperaturverhältnisse IIb, 599.
Molecül I, 23.
— Geschwindigkeit der Gasmolecüle IIb, 513.
— Ungleicher Bewegungszustand d. einzelnen Molecüle IIb, 514.
Molecularanziehung I, 35.
Molecularbewegungen IIb, 520.
Moleculargewicht und Dampfdichte IIb, 237.
— und Gasdichte bei gleicher Temperatur IIb, 513.
Molecularwärme fester Verbindungen IIb, 332.
Molecularkräfte I, 34.
Molecültemperatur der Gase IIb, 516.
Molltonleiter I, 459.
Monochord I, 475.
Mostwage I, 134.
Motoren, elektromagnetische III, 503, 511.
— elektromagnetische Theorie derselben III, 521.
Moussons IIb, 622.
Multiplicator III, 451.
Mund der Orgelpfeifen I, 447.
Mundharmonika I, 424.
Musikalische Temperatur I, 459.
— Töne I, 456.
Muskelstrom III, 779.
Myographion III, 544.

N.

Nachbilder IIa, 333.
Nachwirkungsdilatation IIb, 61.
Nadeln, magnetische III, 4.

Nadeln, astatische III, 35.
— elektrische III, 84.
Naturgesetz I, 2.
Natürliches Licht, Wesen desselben IIa, 624.
Nebel IIb, 637.
Nebensonnen IIb, 648.
Netzhaut IIa, 298.
Neutralisationswärme IIb, 391.
Neutraltemperatur bei Thermoelementen III, 595.
Niederdruckmaschine IIb, 494.
Nichtleiter der Elektricität III, 84.
Nicol'sches Prisma IIa, 526.
Niveauflächen des Potentials III, 208.
Nordlicht III, 221.
— Spectrum desselben IIa, 255.
— Einfluss desselben auf Declination und Inclination III, 46.
Nordpol, magnetischer III, 5.
— magnetischer der Erde III, 81.
Normalkerzen IIa, 21.
Nullpunkt, absoluter IIb, 115.
— des Thermometers IIb, 8.
— Bestimmung desselben IIb, 6, 59.
— Depression desselben IIb, 61.

O.

Oberflächenspannung I, 145.
Obertöne I, 448, 548.
— Beobachtung derselben I, 549.
— der Pfeifen I, 449, 458.
— Beziehung der Obertöne zur Klangfarbe I, 548, 563.
— bei Bildung der Vocale I, 571.
Objectiv IIa, 353.
Oboë I, 562.
Octave I, 456.
Ocular IIa, 354.
— achromatisches IIa, 357.
— aplanatisches IIa, 360.
— von Ramsden IIa, 360.
— terrestrisches IIa, 374.
Ohm oder Ohmad, absolute Widerstandseinheit III, 732.
Ohm'sches Gesetz III, 295.
— Bestätigung desselben III, 300.
— Ableitung und graphische Darstellung desselben III, 324.
Ohr I, 572.
Ombrometer IIb, 640.
Optische Bank IIa, 19.
„ Darstellung der Schwebungen I, 541.
Optometer IIa, 310.
Ordinärer Strahl IIa, 504.
Orgelpfeifen I, 447, 563.
Oscillation des Pendels I, 302.
Oscillationsbewegung I, 401.
Oscillationsdauer I, 404, 416.
— des Pendels I, 303, 307.
Oscillirende Entladung III, 196.

P.

Pachytrop III, 278, 678.
Palette III, 548.
Pansflöte I, 561.
Pantelegraph III, 536.
Papinscher Topf IIb, 187.
Paradoxon, hydrostatisches I, 114.
Parallelogramm der Kräfte I, 39.
Paramagnetismus III, 745.
Partialentladungen III, 160.
Partialtöne I, 548.
Passatwinde IIb, 619.
Passivität des Eisens III, 365.
Pendel, einfaches I, 302.
— zusammengesetztes I, 326.
— Schwingungspunkt desselben I, 326, 327.
— elektrisches III, 83, 547.
— Reversionspendel III, 332.
— Compensationspendel IIb, 30.
Pendelapparat zur Darstellung der Figuren von Lissajous I, 509.
Pendelbewegung I, 310.
Pendelgesetze I, 303.
— mathematische Entwickelung derselben I, 307.
Pendellänge, reducirte I, 329.
— Aufsuchung derselben I, 332.
— Länge des Secundenpendels I, 327.
Pendeluhr I, 335.
Perpetuum mobile III, 250.
Perspectiv IIa, 370.
Pesagraph I, 279.
Pfeifen, Bildung stehender Luftwellen in gedeckten Pfeifen I, 429.
— Schwingungsknoten derselben I, 434.
— Bildung stehender Luftwellen in offenen Pfeifen I, 437.
— Orgelpfeifen (Labialpfeifen) I, 447.
— Klangfarbe derselben I, 563.
— Töne derselben I, 448.
— Demonstration der Schwingungsknoten in denselben I, 450, 451.
— Einfluss der Form der Pfeife auf die Tonhöhe I, 454.
— Labial oder Lippenpfeifen I, 529.
— Wasserpfeifen I, 523.
— Zungenpfeifen I, 523.
— Tonhöhe derselben I, 526.
— Klangfarbe derselben I, 568.
Pferdekraft I, 317, IIb, 497.
Phasendifferenz I, 502.

Phenakistoskop IIa, 330.
Phonautograph I, 515, 553.
Phosphorescenz IIa, 279.
— Dauer derselben IIa, 283.
— Beziehung zu Fluorescenz IIa, 287.
Phosphoroskop IIa, 283.
Photographie IIa, 291.
Photometer von Rumford IIa, 17.
— von Bunsen IIa, 18.
Photometrie IIa, 17.
Physharmonika I, 524.
Physikalische Stimmung I, 462.
Physiologische Wirkungen der elektrischen Entladung III, 161.
Piezometer I, 137.
Piknometer IIb, 78.
Platten, schwingende I, 487.
Pleochroismus IIa, 661.
Pneumatisches Feuerzeug IIb, 426.
Polarisation des Lichtes durch Reflexion IIa, 482.
— des Lichtes durch gewöhnliche Brechung IIa, 490.
— des Lichtes durch Turmalinplatten IIa, 492.
— des Lichtes durch doppelte Brechung IIa, 508.
— Erklärung der Polarisation des Lichtes IIa, 494.
— Chromatische, des Lichtes IIa, 543.
— des Lichtes, elliptische und circulare durch totale Reflexion IIa, 619.
— elliptische und circulare durch Metallreflexion IIa, 622.
— circulare, in Quarzplatten IIa, 595.
— Erklärung derselben IIa, 630.
— der Wärmestrahlen IIb, 583.
— dielektrische III, 183.
— galvanische III, 262, 355.
— elektromotorische Kraft der galvanischen Polarisation III, 360.
— Ursache der galvanischen Polarisation III, 362.
Polarisationsapparat von Duboscq IIa, 485.
— von Nörrenberg IIa, 485.
— von Dove IIa, 569.
— mikroskopischer, von Albert IIa, 568.
— mikroskopischer von Nörrenberg IIa, 569.
Polarisationsarten des Lichtes IIa, 614.
— Methoden zur Untersuchung derselben IIa, 614.
Polarisationsbatterie III, 360.
Polarisationsbüschel IIa, 666.
Polarisationsebene IIa, 486.
Polarisationserscheinungen in Gypsblättchen und Gypskeilen IIa, 543.
— Erklärung derselben IIa, 547.
Polarisationsmikroskop IIa, 566, 663.
Polarisationsprismen IIa, 521.
Polarisationsstrom III, 356.
Polarisationsvibroskop IIa, 541.
Polarisationswinkel IIa, 489.
— Gesetz von Brewster IIa, 489.
Polariseur IIa, 483.
Polarisirtes Licht, geradlinig, elliptisch, kreisförmig IIa, 606.
— Entstehungsweisen dieser Lichtarten IIa, 606.
— theilweise polarisirtes Licht IIa, 624.
— Wesen desselben IIa, 629.
— prismatische Zerlegung des polarisirten Lichtes IIa, 554.
Polariskop IIa, 594.
Polaristrobometer IIa, 642.
Polarlicht III, 221.
Pole, magnetische III, 4.
— Lage derselben III, 22.
— magnetische, der Erde III, 81.
Posaune I, 562.
Potential, elektrisches III, 204.
Potentialdifferenz III, 235.
Potentialfunction III, 207.
— physikalische Bedeutung derselben III, 208.
Potentialniveau III, 208.
Potentielle Energie 465.
Presbyopie IIa, 308.
Princip von Huyghens IIa, 416.
— von Archimedes I, 119.
Prisma IIa, 78.
— achromatisches IIa, 183.
— à vision directe (Amici) IIa, 190.
— achromatisches Kalkspathprisma IIa, 521.
— von Foucault IIa, 527.
— von Hassert IIa, 527.
— von Nicol IIa, 526.
— von Rochon IIa, 523.
— von Senarmont IIa, 522.
— von Wollaston IIa, 525.
— Brechung durch Prismen IIa, 80.
— Minimum der Ablenkung durch ein Prisma IIa, 84.
Prismenbilder IIa, 83.
Prismensysteme ohne Zerstreuung IIa, 183.
Projectionsapparate IIa, 385.
— für Polarisationserscheinungen von Duboscq IIa, 571.
— von Mach IIa, 572.
Projectionsmikroskop IIa, 351.
Psychrometer IIb, 630.
Psychrometrische Differenz IIb, 630.
Pumpen, Saugpumpe I, 179.

Pumpen, Druckpumpe I, 180.
— Luftpumpen I, 213 bis 235.
— Compressionspumpen I, 235.
— Condensatorpumpe IIb, 496.
Pyrheliometer IIb, 594.
Pyrometer IIb, 19.
— Hebelpyrometer IIb, 14.
Pyrophor IIb, 385.

Q.

Quadrantenelektrometer von Henley III, 106.
— von Thomson III, 133.
Quarte I, 456.
Quarz, Drehung der Polarisationsebene in demselben IIa, 595.
— rechts- und linksdrehender IIa, 602.
— Farbenerscheinungen in senkrecht zur Axe geschnittenen Quarzplatten IIa, 595, 636.
— Erklärung derselben IIa, 630.
Quecksilber, absolute Ausdehnung desselben IIb, 40.
— scheinbare Ausdehnung desselben IIb, 46.
— scheinbare Ausdehnung desselben als Maass der Temperatur IIb, 50.
Quecksilberbarometer I, 182 bis 194.
Quecksilbercalorimeter IIb, 314.
Quecksilberluftpumpe von Geissler I, 229.
— von Jolly I, 230.
— „ Babo I, 233.
— „ Poggendorff I, 234.
— „ Kravogl I, 234.
— „ Sprengel I, 364.
Quecksilberthermometer IIb, 5, 50, 71.
— Fehlerquellen und Correctionen desselben IIb, 53 bis 71.
Quellen der Energie IIb, 467.
— der Wärme IIb, 420.
Quinte I, 456.

R.

Räderwerke I, 56.
Radbarometer I, 185.
Radiometer IIb, 589.
— Theorien desselben IIb, 590.
Randwinkel I, 148.
Reactionsrad I, 371.
Realsche Presse I, 114.
Receptor III, 529.
Rectification des Spectrometers IIa, 186.
Reducirte Pendellänge I, 329.
Reducirter Leitungswiderstand III, 329.
Reduction eines Gasvolums auf Normaldruck I, 203.
Reduction eines Gasvolums auf Normalzustand IIb, 124.
— der Zahlenangaben eines Spectrometers IIa, 218.
Reductionsfactor der Tangentenbussole III, 293.
Reflexion des Schalles I, 424.
— von Seilwellen, Demonstration derselben I, 479.
— des Lichtes an ebenen Flächen IIa, 23.
— des Lichtes an gekrümmten Flächen IIa, 45.
— Erklärung desselben IIa, 420.
— totale IIa, 69.
— der Wärmestrahlen IIb, 551.
— diffuse, der Wärmestrahlen IIb, 576.
Reflexionsebene IIa, 24.
Reflexionsgoniometer IIa, 30.
Reflexionskreis IIa, 36.
Reflexionswinkel IIa, 24.
Reflexionsgesetz, mechanische Bedeutung desselben IIa, 427.
Refraction, conische IIa, 537.
Refractionsanomalien des Auges IIa, 308.
Refrigerator IIb, 227.
Regelation des Eises IIb, 151, 522.
Regen IIb, 640, 642.
Regenbogen IIb, 646.
Regenmenge IIb, 640.
Regenmesser IIb, 640.
Region der Calmen IIb, 620.
Registrirapparate, elektrische III, 538.
Regulatoren für elektrisches Kohlenlicht III, 384.
Reibung I, 342.
— gleitende I, 342.
— wälzende I, 345.
— Nutzen und Anwendung der Reibung I, 348.
— innere der Gase IIb, 518.
— Wärmeentwickelung durch Reibung IIb, 420.
Reibungscoëfficient I, 343.
— von Flüssigkeiten IIb, 518.
Reibungselektricität III, 83.
Reibungswiderstand I, 319.
— in langen Röhren I, 368.
Reif IIb, 636.
Rekrystallisation IIb, 523.
Relais III, 534.
Remanenter Mgnetismus III, 486.
Residuum, elektrisches III, 184.
Resonatoren I, 550.
Resonanz I, 532.

Resonanzboden I, 475, 532.
Restspectra IIa, 227.
Resultirende I, 40, 42.
Reversionspendel I, 332.
Reversionsspectroskop IIa, 214.
Rheocord III, 321.
Rheometer III, 455.
Rheoskop III, 455.
Rheostate III, 318.
Röhren, Fortpflanzung der Schallschwingungen in offenen Röhren I, 411.
— Bildung stehender Luftwellen in gedeckten Röhren I, 428.
— Bildung stehender Luftwellen in offenen Röhren I, 437.
— Resonanzröhre I, 428, 551.
— Interferenzröhren I, 535.
— Luftröhre I, 566.
— Geissler'sche IIa, 227.
Rolle I, 45.
Rostpendel IIb, 30.
Rotation von Strom um Magnet III, 573.
— von Magnet um Strom III, 579.
— eines Stromes unter Einfluss eines anderen Stromes III, 581.
Rotationsaxe, Erhaltung derselben I, 298.
— Drehung derselben I, 299.
Rotationsmagnetismus III, 716, 720.
Rotirende Spiegel, Anwendung derselben I, 442.
Rückschlag, elektrischer III, 110.
Rückstand, elektrischer III, 183.

S.

Saccharimeter von Mitscherlich IIa, 644.
— von Wild IIa, 644.
— „ Soleil IIa, 944.
— „ Ventzke IIa, 648.
— „ Laurent IIa, 649.
— „ Cornu und Jellet IIa, 651.
Saiten, Gesetze der Schwingungen derselben I, 473.
— Töne gespannter Saiten I, 476.
— Knotenpunkte I, 471.
— Stroboskopische Beobachtung tönender Saiten I, 486.
— Longitudinalschwingungen der Saiten I, 519.
— Schwingungsform gestrichener Saiten I, 557.
Saiteninstrumente I, 563.
— Klangfarbe derselben I, 564.
Sättigungscurve von Lösungen IIb, 154.
Sättigungstemperatur der Lösungen IIb, 153.
Sättigungspunkt von Magneten III, 25.
Saugphänomen der Gase I, 363.
Saugpumpe I, 179.
Säule, Volta'sche III, 244.
— verschiedene Formen derselben III, 259.
— trockene III, 248.
— Ladungssäule III, 357.
Säulenelektrometer III, 251.
Säure I, 28.
Scala IIa, 216.
Schädlicher Raum bei Luftpumpen I, 220.
Schall, Entstehung desselben I, 401.
— Fortpflanzung desselben I, 409.
— Geschwindigkeit desselben in Luft I, 417.
— Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Schalles von der Elasticität des schallverbreitenden Mediums I, 420.
— Geschwindigkeit des Schalles in flüssigen und festen Körpern I, 421.
— Reflexion des Schalles I, 424.
Schallbecher I, 525.
Schallempfindungen I, 415.
— Intensität derselben I, 416.
Schallwellen I, 411.
— Interferenz derselben I, 534, 552.
Schatten IIa, 10.
— farbige IIa, 337.
Schaukelvoltameter III, 285.
Schiefe Ebene I, 59, 592.
— Fall auf derselben I, 282.
Schiffsschraube I, 393.
Schlagweite der Leydener Flasche III, 158.
Schlittenapparat III, 628.
Schlüssel von Du Bois-Reymond III, 279.
— zu Morse's Telegraph III, 532.
Schmelzen IIIb, 132.
— unter verschiedenem Druck IIb, 499.
— Erklärung desselben IIb, 521.
Schmelzpunkt IIb, 133.
— idealer IIb, 134.
— unconstanter IIb, 136.
— Bestimmung desselben IIb, 140.
— verschiedener Substanzen IIb, 142, 655.
— von Metalllegirungen IIb, 147.
— Abhängigkeit vom Druck IIb, 148.
Schmelzwärme IIb, 160.
— des Eises IIb, 162, 360.
— Bestimmung derselben IIb, 355.
— Regel von Person betreffs der Schmelzwärme IIb, 358.

Schnee, IIb, 643.
Schraube I, 61.
Schraubenpresse I, 63.
Schraubenturbine I, 394.
Schwächung.
Schwaden IIb, 637.
Schwarzschreiber III, 535.
Schweben der Töne I, 539.
— Darstellung der Schwebungen I, 541, 542.
Schwere I, 9.
— der Luft I, 177.
Schwerpunkt I, 66.
Schwingende Bewegung I, 310, 401.
Schwingungen der Luft I, 411, 426, 428.
— des Pendels I, 302.
— von Saiten I, 473.
— von Platten I, 487.
— von Stimmgabeln I, 498.
— transversale von Stäben I, 494.
— longitudinale von Stäben I, 519.
— stehende I, 403.
— Interferenz von Schallschwingungen I, 534.
— Zusammensetzung von Schallschwingungen I, 552.
Schwingungscurve der Pendelschwingung I, 312.
— von Lissajous I, 501, 507.
— zusammengesetzter Schwingungen I, 552.
— gestrichener Saiten I, 559.
Schwingungsdauer des einfachen Pendels I, 303.
— des physischen Pendels I, 330.
— und Tonhöhe I, 416.
Schwingungsebene des polarisirten Lichtes IIa, 495.
Schwingungsform und Klangfarbe I, 547.
— gestrichener Saiten I, 557.
Schwingungsknoten in tönenden Luftsäulen I, 434, 450, 452.
— bei schwingenden Saiten I, 477.
— bei transversalschwingenden Stäben I, 496.
Schwingungspunkt des physischen Pendels I, 326.
Schwingungsweite I, 302.
— Beziehung zur Tonstärke I, 416.
Schwingungszahl I, 404.
— absolute musikalischer Töne I, 461.
— Bestimmung derselben I, 462.
— der Normalstimmgabel I, 500.
— Bestimmung der Schwingungszahl einer Stimmgabel I, 515.
Schwungkraft I, 289.
Schwungmaschine I, 290.
Sciopticon IIa, 386.
Secundäre Säule III, 357.
Secundenpendel I, 327, 335.
Sehen mit zwei Augen IIa, 315.
Sehpurpur IIa, 301.
Sehweite IIa, 306.
Sehwinkel IIa, 312.
Seilwellen I, 408, 479.
Seitenabweichung rotirender Geschosse I, 593.
Seitendruck der Flüssigkeiten I, 116.
— der Gase I, 386.
Sicherheitslampe IIb, 527.
Sicherheitsröhren I, 237.
Sicherheitsventil IIb, 186.
Septime I, 457.
Sext I, 457.
Sieden IIb, 184.
— Abnorme Erscheinungen beim Sieden IIb, 207.
— verdünnter Schwefelsäure IIb, 217.
— Erklärung desselben IIb, 521.
Siedepunkt IIb, 184.
— Abhängigkeit vom Druck IIb, 184.
— absoluter IIb, 261.
— des Wassers IIb, 193.
— normaler, der Flüssigkeiten IIb, 204.
— einiger Flüssigkeiten IIb, 206.
— Einfluss gelöster Substanzen auf den Siedepunkt IIb, 212.
— am Thermometer IIb, 59.
— deprimirter IIb, 62.
— am Thermometer, Bestimmung desselben IIb, 7.
Siedeverzug IIb, 207.
Silbervoltameter III, 411.
Singende Flammen I, 439, 444.
Sinusbussole III, 459.
Sirene von Cagniard la Tour I, 462.
— „ Seebeck I, 464.
— „ Dove I, 464.
Sirocco IIb, 622.
Solenoid III, 553.
Sonnenmikroskop IIa, 351.
Sonnenspectroskop IIa, 214.
Sonnenspectrum IIa, 138.
— genauere Untersuchung desselben IIa, 249.
Sonnenwärme IIb, 594.
Spannkraft der Gase I, 173.
— Messung der Spannkraft der Gase I, 199, 209.
— der Dämpfe IIb, 170.
— Maximum der Spannkraft der Dämpfe nach der statischen Methode IIb, 175.
— Messung derselben nach der dynamischen Methode IIb, 187.
— der Wasserdämpfe, graphische Darstellung IIb, 190.

Spannkraft, Tabelle derselben IIb, 192, 193.
— Formeln für die Spannkraft der Wasserdämpfe IIb, 191.
— der Dämpfe in ungleich erwärmten Räumen IIb, 194.
— der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten IIb, 196.
— der Dämpfe von Flüssigkeitsgemischen IIb, 201.
— Dämpfe im gashaltigen Raume IIb, 201.
Spannung, elektrische als Form der Energie III, 201.
— gekrümmter Oberflächen I, 145.
Spannungscoëfficient der Gase IIb, 99.
— der Luft IIb, 102.
— anderer Gase IIb, 103.
Spannungsreihe, galvanische III, 238.
Spannungsdifferenz III, 235.
Specifisches Brechungsvermögen IIa, 93.
Specifischer Magnetismus III, 762.
Specifisches Gewicht I, 13.
— einiger Körper I, 16, 17.
— Bestimmung desselben fester und flüssiger Körper mit der hydrostatischen Wage I, 123.
— Bestimmung desselben mit dem Gewichtsaräometer I, 126.
— Bestimmung desselben flüssiger Körper mit Scalenaräometern I, 127.
— Bestimmung desselben fester Körper mit dem Stereometer I, 204.
— des Eises IIb, 90.
— des Wassers IIb, 82.
— der Gase IIb, 128.
— der Dämpfe IIb, 228.
— Gesetz bezüglich des specifischen Gewichtes ungesättigter Dämpfe IIb, 235.
Specifisches Gewicht gesättigter Dämpfe IIb, 238.
Specifisches Volum I, 32, IIb, 239.
Specifische Wärme IIb, 273.
— wahre IIb, 275.
— mittlere IIb, 275.
— Abhängigkeit von Temperatur und Aggregatzustand IIb, 318.
— Bestimmung derselben fester und flüssiger Körper nach der Eisschmelzungsmethode IIb, 277.
— Bestimmung derselben nach der Mischungsmethode IIb, 286.
— Bestimmung derselben nach der Methode von Kopp IIb, 295.
— Bestimmung derselben mit dem Calorifer von Andrews IIb, 309.
— Bestimmung derselben mit dem Stromcalorimeter IIb, 312.
— Bestimmung derselben mit dem Quecksilbercalorimeter IIb, 314.
Specifische Wärme, Bestimmung derselben nach der Erkaltungsmethode IIb, 316.
— des Wassers IIb, 319.
— von Metallen IIb, 323.
— von Kohle IIb, 322.
— verschiedener Substanzen im festen und flüssigen Zustande IIb, 324.
— und Atomgewicht IIb, 327.
— zusammengesetzter Körper IIb, 330.
— von Legirungen, Mischungen und Lösungen IIb, 334.
— der Gase bei constantem Druck IIb, 338.
— Gesetze darüber IIb, 346.
— der Gase bei constantem Volum IIb, 350.
— Verhältniss der specifischen Wärme der Gase bei constantem Druck und constantem Volum IIb, 352.
— der Dämpfe IIb, 373.
Spectralanalyse IIa, 203.
— Gewinnung des Lichtes für dieselbe IIa, 220.
Spectralapparate IIa, 204.
— von Bunsen IIa, 205.
— von Kirchhoff IIa, 208.
— mit Scala IIa, 216.
Spectrallinien, Einfluss der Bewegung auf die Lage derselben IIa, 255.
Spectralmikroskop IIa, 205.
Spectrometer IIa, 153, 156.
— Rectification desselben IIa, 156.
Spectroscop, mit ablenkendem Prisma IIa, 204.
— astronomisches IIa, 213.
— automatisches IIa, 210.
— mit gerader Durchsicht IIa, 211.
— von Mousson IIa, 205.
— Reversionsspectroskop IIa, 214.
Spectrum der Sonne IIa, 138.
— Umkehrung desselben IIa, 249.
— Versuche über dasselbe IIa, 140.
— Absorptionsspectra IIa, 227.
— Absorptionsspectra der Gase und Dämpfe IIa, 242.
— Bandenspectrum IIa, 238.
— Beugungsspectra IIa, 435, 447, 454.
— continuirliches IIa, 227.
— Emissionsspectra IIa, 227.
— Emissionsspectra der Metalle IIa, 233.
— Emissionsspectra der nicht metallischen Elemente IIa, 237.
— Flammenspectra IIa, 223.
— Funkenspectra IIa, 223.
— gekreuzte Spectra IIa, 181.

Spectrum, gekrümmte Spectra IIa, 201.
— Gitterspectra IIa.
— Vergleichung des Gitterspectrums mit dem prismatischen IIa, 463.
— Linsenspectra IIa, 227.
— des polarisirten Lichtes IIa, 554.
— Restspectra IIa, 227.
— der Wärmestrahlen IIb, 559.
Sphärische Aberration IIa, 48, 133.
— Spiegel IIa, 45.
— Linsen IIa, 100.
Spiegel IIa, 23.
— ebene IIa, 26.
— Winkelspiegel IIa, 29.
— sphärische IIa, 45.
— concave IIa, 46.
— convexe IIa, 56.
Spiegelablesung IIa, 43, III, 36.
Spiegelgalvanometer III, 461.
— von Weber III, 463.
— „ Wiedemann III, 465.
— „ Meissner und Meyerstein III, 469.
— von O. v. Lang III, 471.
— „ Siemens und Halske III, 471.
Spiegelsextant IIa, 33.
Spiegelteleskop IIa, 379.
Spiegelung, Erklärung durch die Undulationstheorie IIa, 420.
Spiegelversuch von Fresnel IIa, 397.
— Erklärung desselben IIa, 407.
— Modificationen desselben IIa, 413.
Spiralifer I, 396.
Spitzen, elektrische Wirkung derselben III, 141.
Sprache, menschliche I, 570.
Sprachrohr I, 426.
Stahl, Anlassen desselben III, 9.
Stahlmagnete, Herstellung derselben III, 10.
Stabilität I, 71.
Statistisches Moment I, 51.
Staubfiguren I, 521, 452.
— Lichtenberg'sche III, 197.
Stechheber I, 176.
Stehende Schwingungen I, 403.
— Erzeugung des Schalles durch stehende Schwingungen I, 410.
— Luftwellen I, 426.
— Bildung stehender Luftwellen in gedeckten Pfeifen I, 428.
— Bildung stehender Luftwellen in offenen Röhren I, 437.
— Bildung stehender Seilwellen I, 478.
Steigkraft des Luftballons I, 249.
Steighöhe in Capillarröhren I, 152, 157.
Stereometer I, 204.
Stereoskop, Theorie IIa, 318.
Stereoskopischer Apparat von Wheatstone IIa, 323.
— von Brewster IIa, 325.
— von Frick IIa, 325.
— von Steinhauser IIa, 326.
Stereoskopische Bilder IIa, 318.
— Erzeugung derselben IIa, 320.
Sternnebel, Spectrum derselben IIa, 254.
Sternschnuppen IIb, 652.
— Spectrum derselben IIa, 254.
Stimmbänder I, 566.
Stimmdraht I, 525.
Stimmgabel I, 498.
— Optische Vergleichung der Stimmgabeln I, 500.
— Bestimmung der Schwingungszahl einer Stimmgabel I, 515.
Stimmorgan des Menschen I, 566.
— der Thiere I, 570.
Stimmpfeifen I, 449.
Stimmritze I, 566.
Stimmung, deutsche I, 462.
— französische I, 462.
— physikalische I, 462.
Stofftheorie der Wärme IIb, 500.
Stöpselrheostat III, 323.
Störungen der magnetischen Declination und Inclination III, 136.
Stoss I, 336.
— elastischer Körper I, 340.
— unelastischer Körper I, 337.
— Wärmeentwickelung durch Stoss IIb, 420.
Stösse bei Interferenz von Tönen I, 539.
— Anwendung derselben I, 540.
— optische Darstellung derselben I, 541.
— graphische Darstellung derselben I, 542.
Strahl, ordinärer, extraordinärer IIa, 504.
— Richtung derselben IIa, 507.
Strahlende Materie III, 661.
Strahlende Wärme IIb, 524.
— Existenz derselben IIb, 543.
Strahlung der Sonne IIb, 594.
— dynamische IIb, 582.
Strahlungsvermögen der Körper für Wärme IIb, 548.
— der Gase für Wärme IIb, 580.
Streichinstrumente I, 563.
— Klangfarbe derselben I, 564.
Strich, magnetischer III, 10.
Stroboskopische Scheiben IIa, 330.
— zur Analyse singender Flammen I, 444.
— zur Beobachtung schwingender Saiten I, 473.
Strom, galvanischer, Entstehung desselben III, 252.
— Wärmewirkungen desselben III, 369.

Strom, galvanischer, Lichtwirkungen III, 375, 379, 380.
— chemische Wirkungen III, 390 bis 408.
— magnetische Wirkungen desselben III, 447.
— Inductionsstrom III, 622.
— Polarisationsstrom III, 356.
Stromcalorimeter IIb, 314.
Stromstärke III, 281.
— Messung derselben durch chemische Wirkungen III, 282.
— Messung derselben durch elektromagnetische Wirkungen III, 287.
— Einheit derselben nach chemischem Maasse III, 286.
— Gleichheit derselben an allen Stellen des Stromkreises III, 293.
— Ohm'sches Gesetz über die Stromstärke III, 396.
— Maximum derselben III, 305.
Stromwender III, 279.
Stromverzweigung III, 332.
Sturm IIb, 626.
Subjective Farben IIa, 333.
Substitutionsmethode zur Bestimmung des Leitungswiderstandes III, 338.
Substitutionswärme IIb, 391.
Summationstöne I, 545.

T.

Tangentenbussole von Weber III, 288.
— von Gaugain und Helmholtz III, 458.
— Reduction der Angaben derselben auf chemisches Maass III, 291.
Tangentialkraft I, 286.
Tauchbatterie III, 270.
Telegraphie, elektrische III, 528.
Telephon III, 708.
— von Reis III, 709.
— von Bell III, 712.
Telephonrufapparat von Weinhold III, 713.
Telephonrufapparat von Töpler III, 714.
Temperatur IIb, 3.
— Maass derselben IIb, 50.
— musikalische I, 459.
— absolute IIb, 105.
— tiefste erreichte IIb, 254.
— Sättigungs- und Gefriertemperatur von Lösungen IIb, 53.
— calorimetrische Messung hoher Temperaturen IIb, 324.
— des Blutes IIb, 387.
— der Gase IIb, 511.
— Atomtemperatur und Molecültemperatur der Gase IIb, 516.
Temperatur der Luft, Variationen derselben IIb, 596.
— Messung der Lufttemperatur IIb, 600.
— mittlere, des Tages, Monats und Jahres IIb, 602.
— des Bodens IIb, 611.
— Abnahme derselben in höheren Luftschichten IIb, 612.
— Berechnung der Endtemperatur eines ohne Wärmeabgabe comprimirten Gases IIb, 445.
Temperaturcorrection bei calorimetrischen Versuchen IIb, 297, 304.
Temperaturgrade IIb, 4.
Temperaturscala, absolute IIb, 460.
Temperaturverhältnisse IIb, 599.
Tension der Gase I, 173.
Terz I, 456.
Thau IIb, 635.
Thaumatrop IIa, 330.
Theilbarkeit I, 18.
Theodolit, optischer IIa, 153.
— magnetischer III, 41.
Theorem von Toricelli I, 353.
Thermische Wirkungen der elektrischen Entladung III, 167.
Thermochemische Grundsätze IIb, 396.
Thermochrose IIb, 564.
Thermoelektricität III, 587.
— Theorie derselben III, 616.
Thermoelektrische Elemente III, 587.
— Säulen III, 601.
— Nadel III, 590.
— Spannungsreihe III, 590.
— Kraft III, 597.
— Ströme III, 588.
Thermometer, Quecksilberthermometer IIb, 5.
— Anfertigung desselben IIb, 6.
— Fehlerquellen des Quecksilberthermometers IIb, 53 bis 70.
— Kalibrirung des Quecksilberthermometers IIb, 55.
— Metallthermometer von Hermann und Pfister IIb, 32.
— Quadrantenthermometer IIb, 33.
— von Breguet IIb, 33.
— Gewichtsthermometer IIb, 52.
— mit willkürlicher Scala IIb, 54.
— abgekürzte IIb, 71.
— metastatisches, von Walferdin IIb, 72.
— Maximum- und Minimumthermometer von Rutherford IIb, 73.
— Sixthermometer IIb, 73.
— Maximumthermometer von Magnus IIb, 74.
— Maximumthermometer v. Geissler IIb, 76.

Thermometer, Minimumthermometer von Casella IIb, 75.
— Minimumthermometer von Walferdin IIb, 75.
— Fieberthermometer IIb, 75.
— Wasserthermometer IIb, 77.
— Weingeistthermometer IIb, 87.
— Luftthermometer IIb, 109 bis 124.
— Correctionen der Thermometerangaben wegen des vorstehenden Fadens IIb, 65.
Thermometerscalen IIb, 8.
Thermometrograph IIb, 602.
Thermomultiplicator IIb, 545.
Thermoströme III, 588.
— in einem Metalle III, 598.
— zwischen Flüssigkeiten III, 614.
Thierische Elektricität III, 776.
Ton I, 415.
— musikalische Töne I, 456.
— gespannter Saiten I, 473.
— von Pfeifen I, 448.
Töne beim Magnetisiren des Eisens III, 499.
Tonhöhe I, 416.
— Einfluss der Bewegung auf dieselbe I, 467.
— von Pfeifen I, 454.
— von gespannten Saiten I, 475.
Tonleiter I, 457, 460.
Tonstärke I, 416.
Tornados IIb, 626.
Torsionselasticität I, 90.
Totalwirkung eines feststehenden Magneten auf einen drehbaren III, 59.
Trägheit I, 6.
Trägheitsmoment I, 320.
Tragkraft der Hufeisenmagnete III, 16.
Transfusion IIb, 517.
Transversalschwingungen I, 409.
— von elastischen Stäben I, 494.
Tribometer I, 342.
Trichroismus IIa, 661.
Trogapparat III, 259.
Tromben IIb, 627.
Trommelfell I, 573.
Trommelhöhe I, 572.
Trommelmaschine III, 697.
Trompete I, 562.
Tropfgläschen I, 141.
Turbinen I, 371.
Turmalinvarietäten IIa, 659.
Turmalinzange IIa, 493.

U.

Udometer IIb, 640.
Ueberführung der Flüssigkeiten vom positiven zum negativen Pol III, 417.
Ueberhitzung IIb, 207.
Ueberhitzter Dampf IIb, 174, 216.
Ueberschmelzung IIb, 136.
Uebersetzung I, 57.
Uebersättigter Dampf I, 216.
Uebersättigung IIb, 159.
Uebersichtigkeit IIa, 308.
Uhren, Pendeluhr I, 334.
— Taschenuhr I, 335.
— Elektrische Uhr III, 546.
— Sympathische Uhr III, 552.
Ultrarothe Strahlen IIa, 262.
Ultraviolette Strahlen IIa, 262.
Umkehrung des Spectrums IIa, 249.
Umkehrung des Kreisprocesses IIb, 454.
Umschmelzen IIb, 132.
Umsetzungswärme IIb, 391.
Umwandlung des Lichtes in chemische Energie IIa, 288.
Undurchsichtige Körper IIa, 3.
Undulationstheorie IIa, 395.
— Elemente derselben IIa, 401.
Universalgalvanometer III, 471.
Universaltelephon III, 714.
Unpolarisirtes Licht IIa, 624.
Unterbrechungsgabel I, 519.
Unterbrechungsrad III, 624.
Unterbrechungsvorrichtung III, 624.
Unterkühlung IIb, 136, 159.

V.

Variationen des Barometerstandes I, 194, IIb, 615.
— Ursachen derselben IIb, 616.
— der Lufttemperatur IIb, 596.
— im Wassergehalt der Luft IIb, 634.
— der magnetischen Declination und Inclination III, 45.
Ventil, Bodenventil bei Saugpumpen I, 180.
— Druckventil bei Druckpumpen I, 181.
— bei Luftpumpen I, 215.
— Sicherheitsventil IIb, 186.
Ventilluftpumpe, zweistiefligе I, 216.
Ventilmanometer I, 453.
Veränderlichkeit des Volums I, 20.
Verbindung, chemische I, 25, 29.
Verbindungswärme IIb, 373, 414.
Verbindungsweisen galvanischer Elemente III, 276.
Verbrennung IIb, 378.
Verbrennungspunkt IIb, 385.
Verbrennungstemperatur IIb, 385.
Verbrennungswärme IIb, 377.
— Bestimmung derselben IIb, 378.
— verschiedener Substanzen IIb, 379.

Verbrennungswärme der allotropen Modificationen der Kohle IIb, 381.
— des Schwefels in verschiedenen molecularen Zuständen IIb, 381.
— des Wasserstoffs IIb, 382.
— von Verbindungen IIb, 382.
— in physiologischer Hinsicht IIb, 387.
— indirecte Bestimmung der Verbrennungswärme von Metallen IIb, 412.
Verdampfen IIb, 169.
— Arbeitsleistung bei demselben IIb, 476.
— Erklärung desselben IIb, 520.
Verdampfungswärme IIb, 217.
— innere und äussere IIb, 361.
— des Wassers IIb, 368.
Verdunsten IIb, 184.
Verflüssigung der Dämpfe und Gase IIb, 247.
— der sogenannten permanenten Gase IIb, 263.
Vergoldung und Versilberung, galvanische III, 422.
Vergrösserung IIa, 236.
Verstärkungszahl eines Ansammlungsapparates III, 155.
Vertheilung, elektrische III, 91.
— des Magnetismus in Magnetstäben III, 19.
Vertheilungsschieber IIb, 491.
Vertheilungsvermögen, specifisches III, 178.
Verwandlung von Arbeit und Wärme IIb, 420 bis 442, 454, 455.
— der verschiedenen Formen der Energie IIb, 465.
— dunkler Wärmestrahlen in leuchtende IIb, 573.
Verwandlungscoëfficient einer Maschine IIb, 456.
Verzögerung der elektrischen Entladung III, 171.
Vibrationsmikroskop I, 510.
Vibrationstheorie IIa, 395, 401.
Vocale, Bildung derselben I, 570.
Volt, absolute Einheit der elektromotorischen Kraft III, 743.
Volta'sches Element III, 245.
— Theorie desselben III, 255, 440.
Volta'scher Fundamentalversuch III, 228.
— Theorie desselben III, 254, 443.
Voltameter III, 284.
— Kupfer- und Silbervoltameter III, 411.
Volum, Veränderlichkeit desselben I, 20.
— specifisches I, 32.
— scheinbares IIb, 38.
Volum, des Wassers bei verschiedenen Temperaturen IIb, 81.
— verschiedener Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen IIb, 86.
Volumsänderung durch Zug I, 89.
— im Momente des Schmelzens IIb, 88.
— durch Wärme IIb, 4.
Volumenometer I, 204.
Volumeter I, 128.

W.

Wage I, 75.
— Briefwage I, 88.
— hydrostatische I, 121.
Wälzende Reibung I, 345.
Wanderung der Ionen III, 414.
Wärme IIb, 3.
— Maass derselben IIb, 272.
— des menschlichen und thierischen Körpers IIb, 387.
— Wesen derselben IIb, 500.
— mechanisches Aequivalent der Wärme, Bestimmung desselben IIb, 428 bis 442.
— strahlende Wärme, Existenz derselben IIb, 543.
— specifische IIb, 273.
— wahre specifische IIb, 275.
— Bestimmung der specifischen Wärme fester und flüssiger Körper nach der Schmelzmethode IIb, 277.
— Bestimmung nach der Mischungsmethode IIb, 286.
— Bestimmung derselben nach der Erkaltungsmethode IIb, 316.
— Beziehung zwischen specifischer Wärme und Atomgewicht IIb, 327.
— specifische, zusammengesetzter Körper IIb, 330.
— specifische, von Legirungen, Mischungen und Lösungen IIb, 334.
— specifische, der Gase bei constantem Druck IIb, 338.
— specifische, bei constantem Volum IIb, 350.
— specifische, der Dämpfe IIb, 371.
Wärmebewegung in festen und flüssigen Körpern IIb, 520.
Wärmecapacität IIb, 273.
— mittlere und wahre IIb, 275.
Wärmeeffecte beim Mischen von Schwefelsäure und Wasser oder Schnee IIb, 400.
Wärmeeinheit IIb, 161, 272.
Wärmeentwickelung bei der Verbrennung IIb, 377, 382.
— bei Bildung von Chlorverbindungen IIb, 390.

Wärmeentwickelung bei chemischen Vorgängen in tropfbaren Flüssigkeiten IIb, 391.
— bei Bildung der wichtigsten chemischen Verbindungen IIb, 414.
— durch den Lebensprocess IIb, 389.
— durch Stoss und Reibung IIb, 420.
— durch Compression IIb, 425.
— durch die elektrische Entladung III, 167.
— durch den galvanischen Strom III, 369.
— Zusammenhang zwischen der Wärmeentwickelung im Stromkreise und der chemischen Energie der Volta'schen Kette III, 432.
Wärmefärbung IIb, 565.
Wärmegewicht IIb, 458.
Wärmeinhalt IIb, 398.
Wärmeintensität des Spectrums der Sonne und des glühenden Platins IIb, 563.
Wärmeleitung IIb, 524.
— in krystallisirten Körpern IIb, 537.
— in tropfbaren Flüssigkeiten IIb, 538.
— in Gasen IIb, 540.
Wärmeleitungsvermögen, inneres IIb, 528.
— Coëfficient desselben IIb, 529.
— inneres, verschiedener Substanzen IIb, 535.
— Maasse des inneren Leitungsvermögens IIb, 529, 530.
— äusseres IIb, 530.
Wärmemenge IIb, 161.
— Einheit derselben IIa, 161, 272.
Wärmespectrum IIb, 559.
Wärmestrahlen IIa, 262.
— Absorption derselben IIb, 550, 567.
— Brechung derselben IIb, 558.
— Durchgang derselben durch feste Körper IIb, 551, 556.
— Durchgang derselben durch Gase IIb, 567.
— Diffusion derselben IIb, 551.
— Reflexion derselben IIb, 551.
— Identität mit Lichtstrahlen IIb, 564.
— verschiedener Wärmequellen, Ungleichheit des Absorptions- und Diffusionsvermögens für dieselben IIb, 574.
— Polarisation derselben IIb, 583.
— Interferenz derselben IIb, 584.
— mechanische Wirkungen derselben IIb, 588.
Wärmestrahlung IIb, 543.
Wärmestrahlungsvermögen IIb, 548.
Wärmetönung IIb, 391, 399.
Wärmeverbrauch beim Schmelzen IIb, 160.
— beim Auflösen von Salzen IIb, 164, 410.
— beim Verdampfen IIb, 217, 222.
— bei chemischen Vorgängen in tropfbaren Flüssigkeiten IIb, 391.
— bei der Ausdehnung der Gase IIb, 438.
Wasser, Dichte und Ausdehnung desselben IIb, 76 bis 85.
— Siedetemperaturen bei verschiedenen Drucken IIb, 193.
Wasserdampf, Spannkraft desselben bei verschiedenen Temperaturen IIb, 190.
— Gesammtwärme desselben IIb, 367.
— Tabelle der verschiedenen Grössen bezüglich desselben IIb, 478.
— Verhalten des gesättigten Wasserdampfes bei der Ausdehnung IIb, 484.
Wassergefälle, lebendige Kraft desselben I, 371.
Wassergehalt der Luft IIb, 627.
— Variationen desselben IIb, 634.
Wasserhammer IIb, 208.
Wasserhosen IIb, 627.
Wasserluftpumpe I, 367.
Wassermotor I, 392.
Wasserpfeifen I, 523.
Wasserthermometer IIb, 77.
Wasserwellen I, 404.
Wasserwerth IIb, 288.
Wasserzersetzung durch den galvanischen Strom III, 391.
Wechselstrommaschine III, 703.
Weingeistthermometer IIb, 87.
Weitsichtigkeit IIa, 308.
Wellen, fortschreitende I, 403.
— stehende I, 403.
— stehende Luftwellen I, 426, 428.
— stehende Seilwellen I, 478.
— Interferenz isochroner Schallwellen I, 534.
— Zusammensetzung der Wellen I, 552.
— Lichtwellen IIa, 396, 401.
Wellenlänge I, 404.
— Einfluss der Oscillationsdauer auf dieselbe I, 416.
— des Lichtes IIa, 219, 406.
— des Lichtes, Messung derselben IIa, 410.
— Berechnung der Wellenlänge des Lichtes IIa, 441.
— des Lichtes, Bestimmung derselben durch Beugungsgitter IIa, 457.

Wellenlänge, Bestimmung derselben mittelst der Talbot'schen Linien IIa, 560.
— brechbarerer Lichtsorten, Messung derselben IIb, 653.
— der brechbarsten Strahlen IIb, 562.
Wellenmaschine von Crova IIa, 405.
— von Plücker IIa, 667.
— „ Schultze IIa, 669.
— „ Gerling IIa, 669.
— „ Mach und Hayek IIa, 669.
Wellenoberfläche IIa, 405.
— in doppeltbrechenden Krystallen IIa, 506.
— in einaxigen Krystallen IIa, 508.
— Construction derselben IIa, 518.
— in zweiaxigen Krystallen IIa, 529.
Werkinhalt IIb, 398.
Widerstand der Flüssigkeiten und Gase I, 390.
— Anwendung des Wasser- und Luftwiderstandes I, 392.
— Bewegungs- und Beschleunigungswiderstände I, 318.
— Leitungswiderstand, elektrischer linearer Stromleiter III, 298.
— Leitungswiderstand, reducirter III, 329.
— Leitungswiderstand, wesentlicher III, 300.
— specifischer Leitungswiderstand III, 309.
— Leitungswiderstand von Legirungen III, 311.
— Einfluss der Temperatur auf den Leitungswiderstand von Metallen III, 314.
— Einheit des Leitungswiderstandes III, 315, 732.
— Bestimmung des Leitungswiderstandes III, 321, 338.
— Bestimmung des Leitungswiderstandes nach absolutem Maasse III, 727.
— Leitungswiderstand der Flüssigkeiten III, 340.
— Bestimmung des wesentlichen Leitungswiderstandes eines Elementes III, 349.
Widerstandsetalons III, 318.
Wind, Entstehung desselben IIb, 618.
— in höheren Breiten IIb, 622.
— elektrischer III, 142.
Winddrehung, Gesetze derselben IIb, 624.
Winde I, 56.
Winkel, Polarisationswinkel IIa, 489.
— Reflexionswinkel I, 424, IIa, 24.
— der optischen Axen zweiaxiger Krystalle IIa, 528.
Winkelmessinstrumente IIa, 33.
Winkelmessung in mikroskopisch kleinen Krystallen IIa, 665.
Winkelspiegel IIa, 29.
Wippe von Poggendorff III, 358.
Wirbel IIb, 627.
Wolken IIb, 637.
— verschiedene Arten derselben IIb, 638.
Wunderkammer IIa, 392.
Wunderscheibe IIa, 330.
Wundertrommel IIa, 332.
— Wurfbewegung I, 284.
Würfel von Leslie IIb, 549.

Z.

Zähigkeit IIb, 518.
Zauberlaterne I, 178, IIa, 385.
Zaum von Prony I, 350.
Zeichnungsapparat IIa, 345.
Zeitmaass I, 578.
Zerlegung des Lichtes IIa, 136.
— von periodischen Luftbewegungen durch das Ohr I, 548.
Zersetzung, galvanische, des Wassers III, 391.
— galvanische, der Alkalien III, 396.
— „ geschmolzener Chlormetalle III, 398.
— galvanisch gelöster Salze III, 400.
— Experimente über die Zersetzung der Salzlösungen III, 405.
— Theorie der galvanischen Zersetzung III, 423.
Zersetzungstemperatur IIb, 374.
Zersetzungswärme IIb, 373.
Zerstreuende Kraft IIb, 167.
Zerstreuung des Lichtes IIa, 80.
— partielle IIa, 167.
— totale IIa, 167.
— der Wärmestrahlen IIb, 559.
Zerstreuungswinkel IIb, 167.
Zerstreuungspunkt IIa, 56.
Zerstreuungsweite bei Convexspiegeln IIa, 56.
— bei Concavlinsen IIa, 113.
Zitteraal III, 785.
Zitterrochen III, 784.
Zitterwels III, 784.
Zonen der Erde IIb, 576.
Zündelektrisirmaschine III, 174.
Zündmaschine I, 253.
Zungen, aufschlagende und durchschlagende I, 525.
Zungenpfeifen I, 525.
— Klangfarbe derselben I, 565.
Zungenwerk I, 523.
Zurückwerfungsmethode III, 730.
Zusammengesetztes Pendel I, 326.
Zusammensetzung der Wellen I, 552.
Zweiaxige Krystalle IIa, 527.

Nachträgliches Druckfehlerverzeichniss zum II. Bande.

Band II., Abtheilung 1.

Seite 5 Zeile 6 von unten lies: 41981 statt 41965.
„ 18 „ 11 „ „ „ $J = ia + i'b$ statt $J = ia + ib$.
„ 42 „ 13 „ „ „ Gabel C statt Gabel l.
„ 50 „ 2 „ „ „ $2f - b$ „ $2f - h$.
„ 56 „ 7 „ „ „ Abstand b statt Abstand h.
„ 74 Figur 82 lies: d'' statt d.
„ 82 Zeile 11 von oben lies: $n\,(sin\,g\ cos\,x - cos\,g\ sin\,x)$ statt $n\,sin\,(sin\,g\ cos\,x - cos\,g\ sin\,x)$.
„ 82 Zeile 15 von unten lies: d statt a.
„ 83 „ 17 „ „ „ letztere statt sie.
„ 103 Figur 111 lies: Q statt a.
„ 106 Zeile 16 von oben lies: $n' - 1$ statt $1 - n'$.
„ 109 „ 10 „ unten „ Seite 105 statt 103.
„ 110 „ 10 „ „ „ „ 106 „ 104.
„ 111 „ 3 „ „ „ „ 105 „ 103.
„ 112 „ 9 „ „ „ Gleichung 2) statt Gleichung 1).
„ 112 „ 9 „ „ „ $n = 1{\cdot}5$ statt $n - 1{\cdot}5$.
„ 115 „ 1 „ „ „ $\frac{f}{3}$ statt $\frac{f}{2}$.
„ 121 Figur 117 fehlen die Buchstaben $s\,s'$.
„ 152 Zeile 12 von oben lies: Winkel D statt Winkel ϑ.
„ 175 „ 15 „ unten „ t^4 statt t.
„ 177 „ 14 „ oben „ p_2 „ p^2.
„ 182 „ 4 „ unten „ 1·783 statt 1·883.
„ 183 „ 6 „ oben „ 1·783 statt 1·843.
„ 196 „ 4 „ unten „ β statt b.
„ 207 „ 4 und 5 von oben lies: F statt L und L statt F.
„ 230 „ 9 von oben lies: §. 52 statt §. 53.
„ 244 „ 21 „ „ „ $^3/_4$ statt $^1/_4$.
„ 319 „ 15 „ unten „ Fig. 258 statt 269.
„ 319 „ 14, 12 und 10 von unten lies: R statt R_1.
„ 410 „ 5 von unten lies: $2\,l'\,L'$ statt $2\,l''\,L'$.
„ 411 „ 3 „ oben „ $l'\,L'$ statt $l'\,L$.
„ 438 „ 19 „ „ „ Seite 417 statt Seite 415.

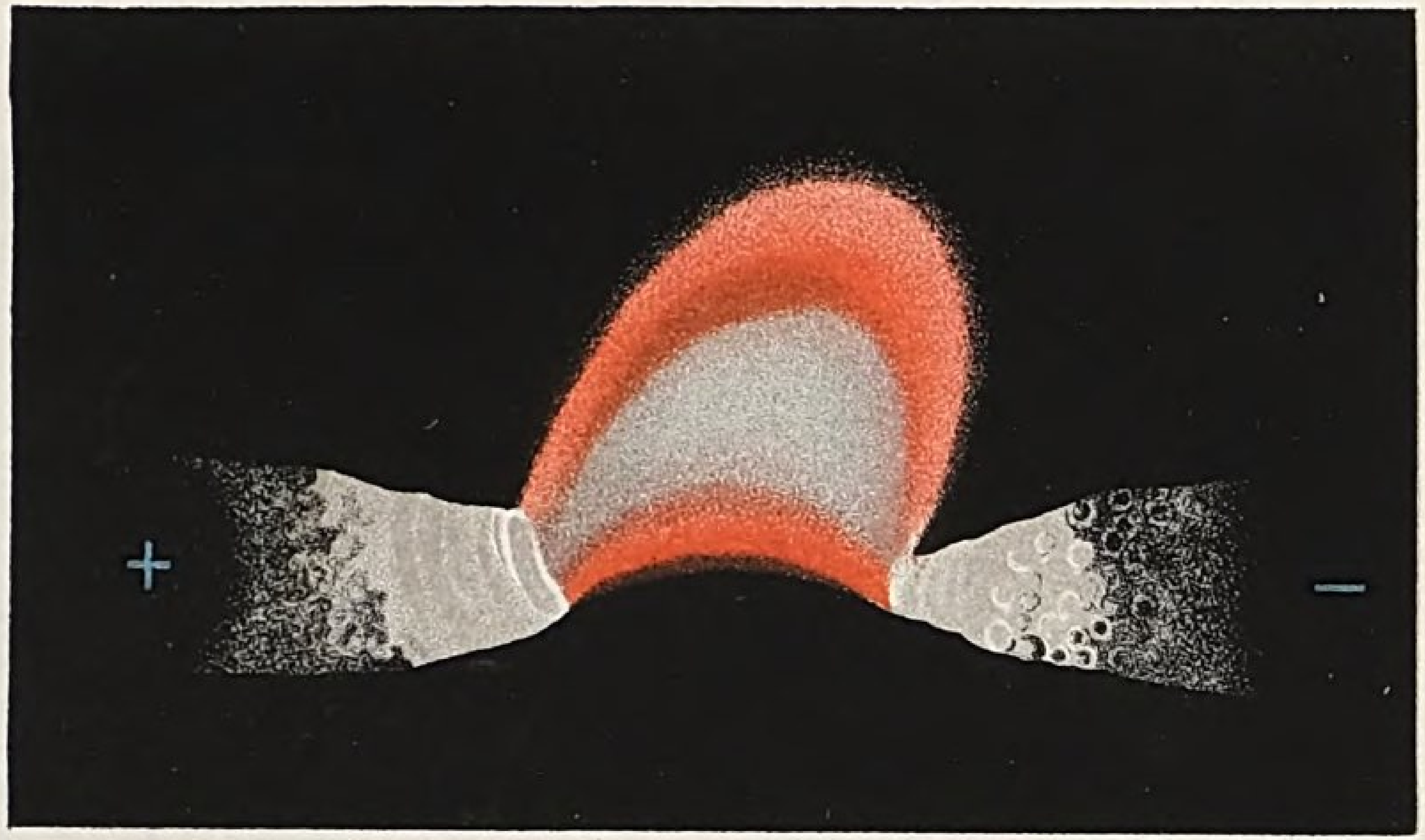
Band II., Abtheilung 2.

Seite 28 Zeile 7 von unten lies: Seite 25 statt Seite 23.
„ 57 Figur 35 lies: 50·6 statt 50·5.
„ 72 Zeile 17 von unten lies: niedrigeren statt höheren.
„ 97 „ 4 „ oben „ rechts statt links.
„ 97 „ 11 „ unten „ v statt v_0.
„ 98 lies überall v_0' statt v'.
„ 102 Zeile 8 und 9 von oben lies: rechten statt linken und linken statt rechten.
„ 157 Zeile 11 von unten lies: Rüdorff statt Rüdorf.
„ 164 „ 2 und 15 von unten lies: Rüdorff statt Rüdorf.
„ 173 Figur 104 und 105, ist Luft mit Dampf zu vertauschen.
„ 457 Figur 239 soll der kleine neben T_2^0 stehende Pfeil die umgekehrte Richtung haben.
„ 534 Zeile 5 von unten
„ 535 „ 8 und 9 von unten
„ 536 „ 1 von oben
} der Wurzelausdruck gehört als Factor zum Exponenten x.

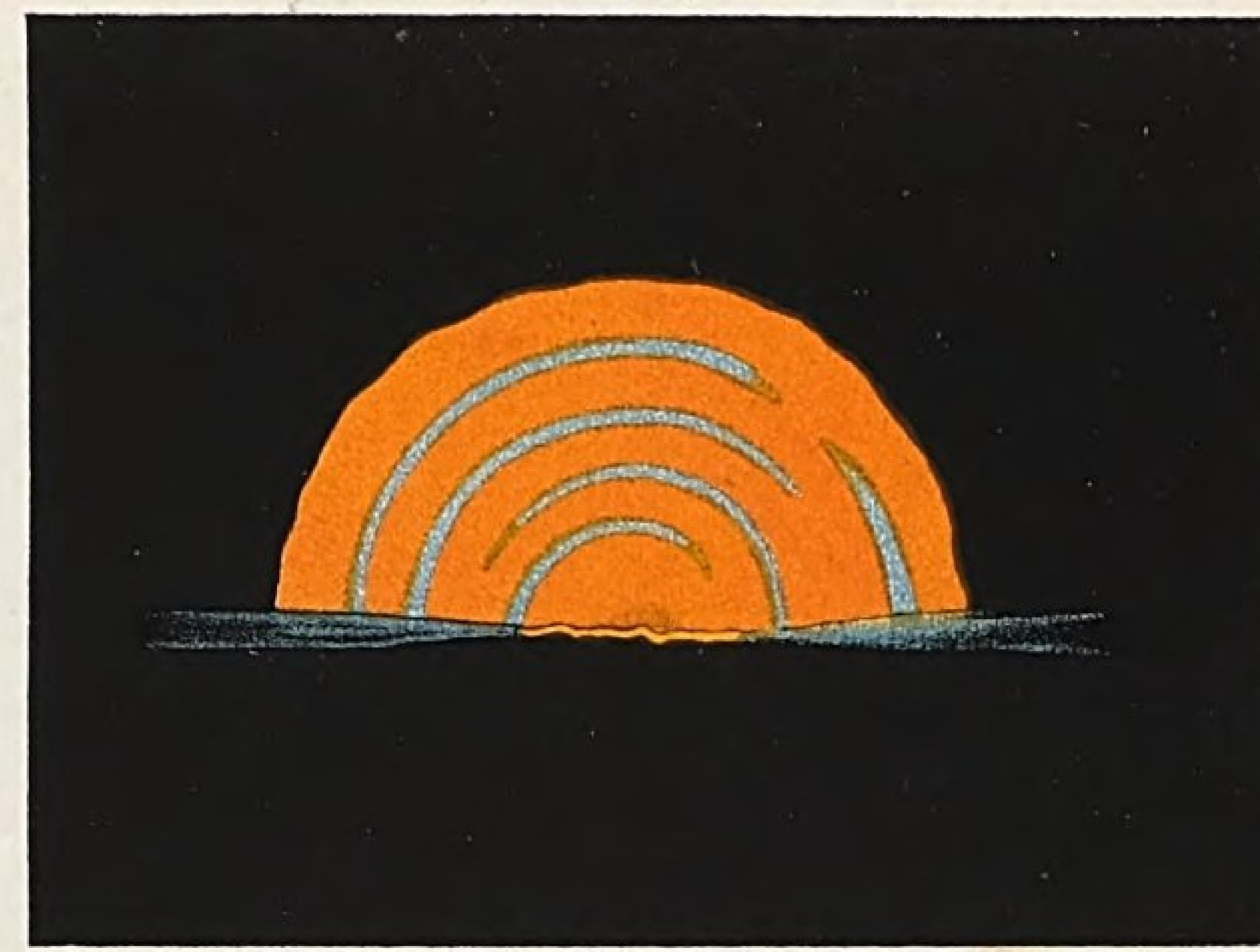
Berichtigungen zum Bande III.

Seite 158 Zeile 20 von unten lies: Harris statt Harries.
„ 343 „ 5 „ oben. Die hier erwähnte Methode stammt nicht von v. Beetz, sondern von F. Kohlrausch (Pogg. Ann. 138); v. Beetz hat allerdings früher (Pogg. Ann. 117) an Zinkvitriollösungen Widerstandsbestimmungen mittelst kurzdauernder, innerhalb einer Versuchsreihe wechselnder Ströme angestellt, aber nicht eigentliche Wechselströme mit Elektrodynamometer benutzt.
„ 617 Zeile 5 von oben lies: α statt a.
„ 680 „ 14 und 15 von unten lies: magnetoelektrisch statt elektromagnetisch.
„ 680 Zeile 15 von unten lies: Wilde statt Wild.

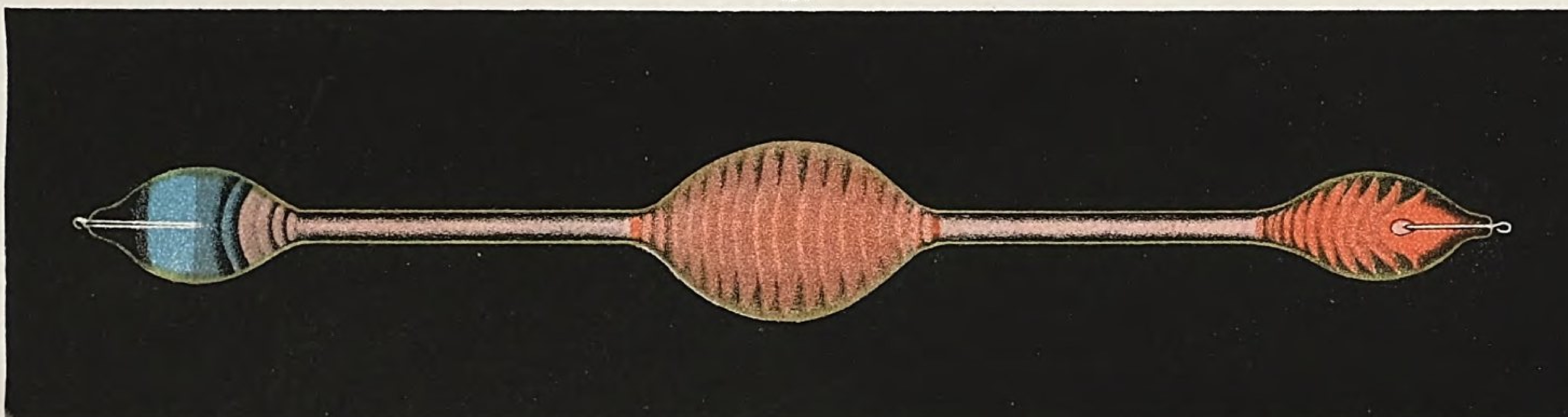
1.



3.



2.



Lith. Anst. v. J. G. Bach, Leipzig

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Müller, Johann Heinrich Jacob, / Pfaundler von Hadermur, Leopold, /
Pouillet, Claude Servais Mathias,

Lehrbuch der Physik und Meteorologie in 3 Bd. ; theilweise nach Pouillet's
Lehrbuch d. Physik selbständig bearb

Bd.: 3

1881

Bamberg, Staatsbibliothek -- Phys.o.55-ab(4
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11763640-3